

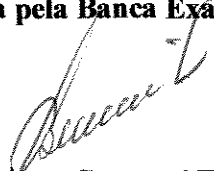
**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**

**FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**

**REUSO AGRÍCOLA DO EFLUENTE DE UM FILTRO  
ANAERÓBIO UTILIZANDO UM SISTEMA DE  
IRRIGAÇÃO POR SULCOS**

**Ricardo Stahlschmidt Pinto Silva**

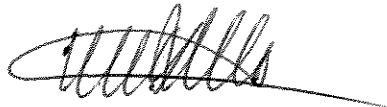
**Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:**



**Prof. Dr. Bruno Coraucci Filho**  
**Presidente e Orientador / Faculdade de Engenharia Civil – UNICAMP**



**Prof. Dr. Eduardo Pacheco Jordão**  
**Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro – POLI/UFRJ**



**Prof. Dr. Roberto Feijó de Figueiredo**  
**Faculdade de Engenharia Civil – UNICAMP**



**Pesquisador Dr. Ronaldo Stefanutti**  
**PROSAB / Faculdade de Engenharia Civil - UNICAMP**

**Campinas, 28 de fevereiro de 2003**

**À Ilka,  
e aos meus pais**

UNICAMP  
BIBLIOTECA CENTRAL  
SEÇÃO CIRCULANTE

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**

**FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**

**REUSO AGRÍCOLA DO EFLUENTE DE UM FILTRO  
ANAERÓBIO UTILIZANDO UM SISTEMA DE  
IRRIGAÇÃO POR SULCOS**

**Ricardo Stahlschmidt Pinto Silva**

**Orientador : Prof. Dr. Bruno Coraucci Filho**

Dissertação de Mestrado apresentada à Comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil

**Campinas, SP  
2003**

Atesto que esta é a versão definitiva da dissertação.	
Assinatura	05.10.03
Matrícula	03737-1

UNIDADE	Si38
Nº CHAMADA TI/UNICAMP	Si38
V	EX
TOMBO BC/	56477
PROC.	16-124/03
C <input type="checkbox"/>	D <input checked="" type="checkbox"/>
PREÇO	R\$ 11,00
DATA	07/12/03
Nº CPD	

CM00192144-2

Bib id 305140

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

Si38r

Silva, Ricardo Stahlschmidt Pinto

Reuso agrícola do efluente de um filtro anaeróbio utilizando um sistema de irrigação por sulcos / Ricardo Stahlschmidt Pinto Silva.--Campinas, SP: [s.n.], 2003.

Orientador: Bruno Coraucci Filho.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil.

1. Água residual. 2. Esgotos. 3. Irrigação. I. Coraucci Filho, Bruno. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil. III. Título.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**

**FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**

**REUSO AGRÍCOLA DO EFLUENTE DE UM FILTRO  
ANAERÓBIO UTILIZANDO UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO  
POR SULCOS**

**Ricardo Stahlschmidt Pinto Silva**

**Campinas**

**2003**

UNICAMP  
BIBLIOTECA CENTRAL  
SEÇÃO CIRCULANTE

## **Agradecimentos**

Ao Prof. Dr. Bruno Coraucci Filho, que deu o caminho, as ferramentas e todo o apoio para chegarmos aonde chegamos. Agradeço pela oportunidade e credibilidade dada na realização deste trabalho e por toda a estrutura fornecida. Obrigado, mais uma vez, por tudo, não só pela orientação, mas também pelo apoio dado em momentos difíceis passados nesta trajetória.

Ao Prof. Dr. Eduardo Pacheco Jordão, por ter me iniciado nesta área com oportunidades muito ricas, com a crença de um mestre que formou mais um sanitarista para trilhar seu caminho.

Ao Prof. Dr. Roberto Feijó de Figueiredo, pela participação enriquecedora que teve ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Dirceu Brasil Vieira, pelos conhecimentos de agronomia e de irrigação transmitidos e por todo o apoio disponibilizado na concepção, implantação e operação deste projeto.

Ao Prof. Dr. Edson Aparecido Abdul Nour, pela troca sempre enriquecedora de conhecimento e pelo apoio dado na fase deste trabalho, quando buscava soluções para uma implantação adequada do projeto.

Aos Drs. Ronaldo Stefanutti, Cristiane Tumang e Ana Paula Packer, por todo o apoio dado ao longo da pesquisa, pela disponibilidade oferecida, por proporcionarem discussões enriquecedoras para este projeto.

Ao Prof. Dr. Antônio Roberto Siviero e ao técnico Luiz Fernando Chang de Oliveira, do COTIL/UNICAMP, pela disponibilidade apresentada para a discussão de assuntos relacionados à pesquisa.

Ao Prof. Hiroshi Paulo Yoshizane, do CESET/UNICAMP, pelo levantamento topográfico realizado na área experimental.

Aos colegas de pós-graduação, Osvaldo, Patrícia, Marta, Adriano, Gustavo, Luiz e Elder, por todo o companheirismo ao longo desta jornada.

Às colegas da área experimental, Josiane e Cláudia, por todo o companheirismo desenvolvido do início ao fim deste projeto.

Aos pós-graduandos Túlio, Porto e Carlos, que participaram da parte embrionária deste projeto.

À tecnóloga Silvana Broleze e aos bolsitas Andréia, Bianca, Elizete, Janaína, Letícia, Tássia, Tatila e Elgin (“in memorian”), por todo apoio dado no laboratório e no campo.

Aos funcionários do CESET/UNICAMP, Josiane, Anjaína, Ádria, Geraldo, Emerson e Ivonei, à direção e aos funcionários das oficinas, por terem disponibilizado os espaços e instrumentos necessários para a realização das atividades.

Aos funcionários do Laboratório de Hidrologia, do Laboratório de Mecânica dos Solos e Estradas da Faculdade de Engenharia Civil/UNICAMP, pelo apoio e pela disponibilidade apresentadas quando solicitados.

À FAPESP pelo financiamento deste trabalho e à FINEP, ao BID, ao CNPq e à Caixa Econômica Federal que financiaram o PROSAB – Edital 3, do qual esse projeto fez parte.

À Cia. Águas de Limeira, por ter cedido o espaço para o desenvolvimento da parte de campo, e ao funcionário Conrado, pelo apoio dado no dia-a-dia.

Ao Prof. Dr. Marcos Omir Marques, da FCAV/UNESP, pelo apoio dado na análise final dos resultados agronômicos, oferecendo mais do que o solicitado.

Ao Luiz Fernando, pela disponibilidade, interesse, qualidade dos serviços e persistência apresentada nos momentos difíceis.

Aos colegas da CETESB/Ribeirão Preto que, direta ou indiretamente, contribuíram na fase final deste trabalho.

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	iii
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE EQUAÇÕES	xi
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS	xii
RESUMO	xvi
ABSTRACT	xvii
<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>2 OBJETIVOS</b>	<b>4</b>
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>5</b>
<b>3.1 Reatores Anaeróbios</b>	<b>10</b>
<b>3.2 Disposição de Esgoto no Solo</b>	<b>14</b>
3.2.1 Degradação do Substrato no Solo	15
3.2.2 Descrição dos Métodos de Larga Escala	16
<b>3.3 Irrigação</b>	<b>20</b>
3.3.1 Condições Básicas para uma Irrigação Eficiente	20
3.3.2 Ciclo vegetativo das plantas	28



<b>4 MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>32</b>
4.1 Localização do Projeto	32
4.2 Organização do Projeto	33
4.3 Implantação do Sistema	34
4.4 Operação do Sistema	43
4.5 Análise Sanitária	47
4.6 Análise Agronômica	51
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>55</b>
5.1 Levantamento Preliminar e Dimensionamento do Sistema	55
5.2 Operação do Sistema	59
5.3 Análise Sanitária	65
5.4 Análise Agronômica	79
<b>6 CONCLUSÕES</b>	<b>87</b>
<b>7 RECOMENDAÇÕES</b>	<b>89</b>
<b>8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>91</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>95</b>
Anexo A – Resultados Preliminares	96
Anexo B – Resultados Sanitários	103

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Área irrigada com água residuária em diferentes países	7
Tabela 3.2 – Diretrizes recomendadas pela OMS para a qualidade microbiológica das águas residuárias utilizadas na agricultura	9
Tabela 3.3 – Vantagens e desvantagens do processo anaeróbio	11
Tabela 3.4 – Qualidade esperada do efluente tratado por aplicação no solo	17
Tabela 3.5 – Alguns parâmetros exigidos para a qualidade da água para irrigação	22
Tabela 3.6 – Fatores que afetam a seleção da técnica de irrigação e medidas necessárias quando se utilizam águas residuárias.	27
Tabela 5.1 – Densidade global (Dg) do solo nas profundidades de 0-25, 25-50, 50-75, 75-100cm	56
Tabela 5.2 – Dados de Capacidade de Campo (CC), Umidade Crítica (UC) e Ponto de Murchamento (PM) do solo extraídos das curvas características correspondentes	56
Tabela 5.3 – Ensaio de fertilidade para o solo natural	57
Tabela 5.4 – Cálculo dos parâmetros de projeto do sistema de irrigação para as profundidades de irrigação estabelecidas (20cm, 40cm e 60cm)	57
Tabela 5.5 – Volumes aplicados por sulco para as três profundidades de irrigação	58

Tabela 5.6 – Apresentação dos dias de mudança de estágio do ciclo vegetativo do milho na 1ª safra	59
Tabela 5.7 – Apresentação dos dias de irrigação, de precipitação, das lâminas hídricas aplicadas e do volume aplicado na 1ª safra	60
Tabela 5.8 – Apresentação dos dias de mudança de estágio do ciclo vegetativo do milho na 2ª safra	61
Tabela 5.9 – Apresentação dos dias de irrigação, de precipitação, das lâminas hídricas aplicadas e do volume aplicado na 2ª safra	62
Tabela 5.10 – Apresentação dos dias de mudança de estágio do ciclo vegetativo do milho na 3ª safra	63
Tabela 5.11 – Apresentação dos dias de irrigação, das precipitações, das lâminas aplicadas e do volume aplicado na 3ª safra	64
Tabela 5.12 – Caracterização do Efluente Anaeróbio gerado na ETE Piloto, instalada na ETE Graminha, Limeira, SP	66
Tabela 5.13 – Total acumulado das lâminas e dos volumes aplicados até o dia de extração de amostras nos coletores de drenagem livre	66
Tabela 5.14 – Valores do Potencial Hidrogeniônico das amostras extraídas dos coletores de drenagem nas três safras por profundidade do solo e lâminas hídricas	67
Tabela 5.15 – Concentração média da Alcalinidade Total das amostras extraídas dos coletores de drenagem nas três safras	68
Tabela 5.16 – Concentração média da Demanda Química de Oxigênio das amostras extraídas dos coletores de drenagem nas três safras	69
Tabela 5.17 – Concentração média da Demanda Bioquímica de Oxigênio das amostras extraídas dos coletores de drenagem nas três safras	70
Tabela 5.18 – Concentração média de Sólidos Suspensos Totais das amostras extraídas dos coletores de drenagem nas três safras	71
Tabela 5.19 – Concentração média de Sólidos Suspensos Fixos das amostras extraídas dos coletores de drenagem nas três safras	72
Tabela 5.20 – Concentração média de Sólidos Suspensos Voláteis das amostras extraídas dos coletores de drenagem nas três safras	72

Tabela 5.21 – Concentração média de Nitrogênio Amoniacal das amostras extraídas dos coletores de drenagem nas três safras	74
Tabela 5.22 – Concentração média de Nitrito das amostras extraídas dos coletores de drenagem nas três safras	74
Tabela 5.23 – Concentração média de Nitrato das amostras extraídas dos coletores de drenagem nas três safras	75
Tabela 5.24 – Concentração média de Nitrogênio Total Kjeldahl das amostras extraídas dos coletores de drenagem nas três safras	76
Tabela 5.25 – Concentração média de Fósforo das amostras extraídas dos coletores de drenagem nas três safras	77
Tabela 5.26 – Concentração média de Coliformes Totais das amostras extraídas dos coletores de drenagem nas três safras	78
Tabela 5.27 – Concentração média de Coliformes Fecais das amostras extraídas dos coletores de drenagem nas três safras	79
Tabela 5.28 – Valores médios obtidos para os cenários água e esgoto – Método da Biomassa a 60-70°C	81
Tabela 5.29 – Valores médios obtidos para os cenários água e esgoto – Método da Biomassa a 13% de umidade	82
Tabela 5.30 – Valores médios obtidos para os cenários água e esgoto – Método da Biomassa para 1000 grãos	83
Tabela B.1 – Valores referentes ao Potencial Hidrogeniônico, Demanda Química de Oxigênio, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Sólidos Suspensos Totais, Sólidos Suspensos Fixos e Sólidos Suspensos Voláteis das amostras extraídas dos coletores de drenagem livre na 1ª safra	104
Tabela B.2 – Valores referentes ao Potencial Hidrogeniônico, Demanda Química de Oxigênio, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Sólidos Suspensos Totais, Sólidos Suspensos Fixos e Sólidos Suspensos Voláteis das amostras extraídas dos coletores de drenagem livre na 2ª safra	105
Tabela B.3 – Valores referentes ao Potencial Hidrogeniônico, Demanda Química de Oxigênio, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Sólidos Suspensos Totais, Sólidos Suspensos Fixos e Sólidos Suspensos Voláteis das amostras extraídas dos coletores de drenagem livre na 3ª safra	106

Tabela B.4 – Valores referentes ao Nitrogênio Amoniacal, Nitrito, Nitrato, Nitrogênio Kjeldahl e Fósforo Total das amostras extraídas dos coletores de drenagem livre na 1ª safra	108
Tabela B.5 – Valores referentes ao Nitrogênio Amoniacal, Nitrito, Nitrato, Nitrogênio Kjeldahl e Fósforo Total das amostras extraídas dos coletores de drenagem livre na 2ª safra	109
Tabela B.6 – Valores referentes ao Nitrogênio Amoniacal, Nitrito, Nitrato, Nitrogênio Kjeldahl e Fósforo Total das amostras extraídas dos coletores de drenagem livre na 3ª safra	110
Tabela B.7 – Valores referentes ao Potencial Hidrogeniônico, Alcalinidade Total, Coliformes Totais e Coliformes Fecais das amostras extraídas dos coletores de drenagem livre na 1ª safra	112
Tabela B.8 – Valores referentes ao Potencial Hidrogeniônico, Alcalinidade Total, Coliformes Totais e Coliformes Fecais das amostras extraídas dos coletores de drenagem livre na 2ª safra	113
Tabela B.9 – Valores referentes ao Potencial Hidrogeniônico, Alcalinidade Total, Coliformes Totais e Coliformes Fecais das amostras extraídas dos coletores de drenagem livre na 3ª safra	114

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Configuração de uma lagoa anaeróbia	12
Figura 3.2 – Configuração de um decanto-digestor (tanque-séptico)	12
Figura 3.3 – Configuração de um filtro anaeróbio de fluxo ascendente (a) e de fluxo descendente com recirculação do efluente (b)	13
Figura 3.4 – Configuração de um reator manta de lodo (UASB)	13
Figura 3.5 – Configuração do Método de Escoamento Superficial	18
Figura 3.6 – Configuração do Método de Infiltração-Percolação	19
Figura 3.7 – Ilustração de curva característica de água no solo identificando a umidade crítica (UC) para um determinado valor de potencial matricial do solo ( $\psi$ para a cultura do milho	23
Figura 3.8 – Ilustração do controle de irrigação, havendo uma irrigação antecipada que teve como consequência a lixiviação do líquido	24
Figura 3.9 – Algumas das técnicas de irrigação mais utilizadas para tratamento das águas residuárias	25
Figura 3.10 – Estágios do ciclo vegetativo do milho (estágio inicial, desenvolvimento, intermediário, maturação e final)	30
Figura 3.11 – Relação do coeficiente de demanda hídrica do milho ( $k_c$ ) com os dias de duração do ciclo vegetativo	31

Figura 4.1 – Terreno adjacente a ETE Graminha, Limeira, SP, onde foi instalado o sistema de irrigação (solo natural)	32
Figura 4.2 – ETE Piloto - Filtros Anaeróbios instalados no interior das dependências da ETE Graminha, Cia. Águas de Limeira S.A, Limeira, SP.	34
Figura 4.3 – Aspecto do solo após aração e gradeamento	36
Figura 4.4 – Detalhe da aplicação de calcáreo para correção do pH do solo	37
Figura 4.5 – Esquema de uma parcela, com a identificação das linhas de bordadura	38
Figura 4.6 – Implantação de uma parcela. Apresenta-se a regularização do sulco para que o mesmo fique com largura de fundo constante.	38
Figura 4.7 – Esquema de um bloco (com dois cenários, com três parcelas em cada cenário e, para cada parcela, uma profundidade de irrigação (h) diferente)	39
Figura 4.8 – Aspecto de um bloco de irrigação implantado na área experimental	40
Figura 4.9 – Sistema de distribuição do efluente e da água instalado na área experimental	40
Figura 4.10 – Apresentação do sistema de irrigação de um sulco	41
Figura 4.11 – Plantio do milho na 1ª safra, realizado com matraca a cada 20cm	42
Figura 4.12 – Plantio do milho na 2ª e 3ª safras, realizado com uma haste a cada 20cm e com três sementes por buraco. A cada 20 cm há uma marcação na linha.	42
Figura 4.13 – Ilustração da Área de influência (Ai) de um sulco de infiltração na parcela	47
Figura 4.14 – Esquema do coletor de drenagem livre desenvolvido	48
Figura 4.15 – Aspecto externo do coletor de drenagem livre desenvolvido para o projeto	49
Figura 4.16 – Aspecto interno do coletor de drenagem livre, apresentando seu conjunto	49

Figura 4.17 – Aspecto do posicionamento dos coletores de drenagem livre instalados nas profundidades de 25cm, 50cm e 75cm	50
Figura 4.18 – Dispositivo desenvolvido para a extração de amostras do coletor de drenagem livre	50
Figura 4.19 – Utilização do dispositivo desenvolvido para a extração de amostra no campo	51
Figura 5.1 – Qualidade das espigas de milho produzidas no “cenário água” - 1ª safra.	84
Figura 5.2 – Qualidade das espigas de milho produzidas no “cenário esgoto” - 1ª safra.	84
Figura 5.3 – Qualidade das espigas de milho produzidas no “cenário água” - 2ª safra.	85
Figura 5.4 – Qualidade das espigas de milho produzidas no “cenário esgoto” - 2ª safra.	85
Figura 5.5 – Qualidade das espigas de milho produzidas no “cenário água” - 3ª safra.	86
Figura 5.6 – Qualidade das espigas de milho produzidas no “cenário esgoto” - 3ª safra.	86
Figura A.1 – Curva característica de água no solo, para a camada de 0-25 cm, referente ao solo natural	97
Figura A.2 – Curva característica de água no solo, para a camada de 25-50 cm, referente ao solo natural	97
Figura A.3 – Curva característica de água no solo, para a camada de 50-75 cm, referente ao solo natural	98
Figura A.4 – Curva característica de água no solo, para a camada de 75-100 cm, referente ao solo natural	98
Figura A.5 – Curva granulométrica do solo em seu estágio natural, na profundidade de 0-25cm	99
Figura A.6 – Curva granulométrica do solo em seu estágio natural, na profundidade de 25-50cm	99
Figura A.7 – Curva granulométrica do solo em seu estágio natural, na profundidade de 50-75cm	100



Figura A.8 – Curva granulométrica do solo em seu estágio natural, na profundidade de 75-100cm	100
Figura A.9 – Levantamento topográfico da área experimental realizada no terreno natural	101
Figura A.10 – Indicação do sentido de escoamento do lençol freático	102
Figura B.1 – Potencial hidrogeniônico - 1ª, 2ª e 3ª safras - amostras extraídas dos coletores de drenagem livre	116
Figura B.2 – Alcalinidade total - 1ª, 2ª e 3ª safras - amostras extraídas dos coletores de drenagem livre	117
Figura B.3 – Demanda Química de Oxigênio - 1ª e 2ª safras - amostras extraídas dos coletores de drenagem livre	118
Figura B.4 – Demanda Química de Oxigênio e Demanda Bioquímica de Oxigênio – 3ª safra - amostras extraídas dos coletores de drenagem livre	119
Figura B.5 – Sólidos Suspensos - 1ª e 2ª safras - amostras extraídas dos coletores de drenagem livre	120
Figura B.6 – Sólidos Suspensos - 3ª safra - amostras extraídas dos coletores de drenagem livre	121
Figura B.7 – Nitrogênio Amoniacal, Nitrito, Nitrato e Nitrogênio Kjeldahl - 1ª e 2ª safras - amostras extraídas dos coletores de drenagem livre	122
Figura B.8 – Nitrogênio Amoniacal, Nitrito, Nitrato e Nitrogênio Kjeldahl - 3ª safra - amostras extraídas dos coletores de drenagem livre	123
Figura B.9 – Fósforo - 1ª, 2ª e 3ª safras - amostras extraídas dos coletores de drenagem livre	124
Figura B.10 – Coliformes Totais e Fecais - 1ª e 2ª safras - amostras extraídas dos coletores de drenagem livre	125
Figura B.11 – Coliformes Totais e Fecais - 3ª safra - amostras extraídas dos coletores de drenagem livre	126

## **LISTA DE EQUAÇÕES**

Equação 4.1 – Cálculo da densidade global de uma amostra de solo	35
Equação 4.2 – Cálculo da umidade real do solo	44
Equação 4.3 – Cálculo da lâmina hídrica líquida para uma determinada profundidade de irrigação	46
Equação 4.4 – Cálculo do volume a ser aplicado por sulco para uma determinada profundidade de irrigação	46
Equação 4.5 – Cálculo da produtividade agrícola de uma parcela	52

## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AD	Altura de Água Disponível
A	Área correspondente à parte produtiva da parcela
Ai	Área de Influência de um sulco
Al	Alumínio
bar	Unidade de pressão
°C	Graus Celsius
C	Carbono
Ca	Cálcio
CaCl <sub>2</sub>	Cloreto de cálcio
CC	Capacidade de Campo
CEPIS	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente
CESET	Centro Superior de Educação Tecnológica
CF	Coliformes Fecais
cm	Centímetro
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente

COTIL	Colégio Técnico de Limeira
CO <sub>2</sub>	Gás carbônico
CT	Coliformes Totais
CTC	Capacidade de troca catiônica
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
Dg	Densidade global
DQO	Demanda Química de Oxigênio
Dr	Densidade real
USEPA	U. S. Environmental Protection Agency
ETE	Estação de tratamento de esgotos
gs	Peso dos grãos de milho seco da parte mais produtiva da parcela
h	Profundidade de irrigação
H	Hidrogênio
ha	Hectare
Hi	Lâmina Hídrica Líquida
K	Potássio
kc	Coeficiente de demanda hídrica do milho
kg	Quilograma
km	Quilômetro
kp	Coeficiente do tanque
L	Litros
m	Metros

Mg	Magnésio
mg	Miligrama
mL	Mililitro
mm	Milímetro
M.O.	Matéria Orgânica
N	Nitrogênio
NH <sub>3</sub>	Amônia
NO <sub>2</sub>	Nitrito
NO <sub>3</sub>	Nitrato
NTK	Nitrogênio Total Kjeldahl
P	Fósforo
p	Porosidade
pH	Potencial Hidrogeniônico
Prod	Produtividade agrícola
PM	Ponto de Murchamento
PROSAB	Programa de Pesquisas em Saneamento Básico
PS	Peso Seco
PU	Peso Úmido
PVC	Policloreto de vinila
S.B.	Saturação por bases
sem	Semana
SSF	Sólidos suspensos fixos

SST	Sólidos suspensos totais
SSV	Sólidos suspensos voláteis
T	Tara - Peso do recipiente
UA	Umidade Atual
UC	Umidade Crítica
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket
V	Volume
$\Psi_c$	Potencial Matricial Crítico

## RESUMO

O reuso de efluentes líquidos domésticos na agricultura surge como uma ótima alternativa de destino para o efluente tratado, utilizando suas características físico-químicas para a produção agrícola. Estuda-se neste trabalho o emprego do efluente anaeróbio na irrigação devido às suas características vantajosas para a agricultura, com concentrações de nutrientes e matéria orgânica que geralmente não atendem aos padrões para lançamento nos cursos d'água, sendo a irrigação uma possível solução. Para o estudo da viabilidade do reuso de efluentes na irrigação, foram investigadas a aplicação de três lâminas hídricas correspondentes às profundidades de irrigação de 20cm, 40cm e 60cm, com o estudo sanitário realizado por amostragens extraídas em coletores de drenagem livre nas profundidades de 25cm, 50cm e 75cm do perfil do solo para o “cenário esgoto”. A análise agrícola foi realizada pelo estudo da produtividade agrícola do milho. Foram obtidos resultados que indicam que: quando realizada a irrigação com controle rigoroso da frequência de irrigação, a percolação de líquidos torna-se praticamente nula; a lixiviação do nitrato é mais frequente a partir do instante em que começa a diminuir a demanda hídrica da planta; o solo é um meio adequado para a sobrevivência dos coliformes; a redução do nitrogênio amoniacal é da ordem de 99%, sendo 95% absorvidos pela planta; o fósforo tem uma redução da ordem de 95%, retornando para o seu reservatório natural, o solo; a produtividade agrícola do cenário irrigado com esgoto é praticamente a mesma que a de um “cenário água” com solo adubado; a profundidade de irrigação adequada para a utilização de esgoto na agricultura é a mesma que é adotada pelos agrônomos. Conclui-se que o reuso com efluente anaeróbio é recomendado, desde que sejam tomadas certas precauções quanto ao nitrato e aos coliformes.

## **ABSTRACT**

The reuse of domestic wastewater in agriculture appears as a good alternative of destination for the treated effluent, utilizing its physical-chemical characteristics for the agricultural production. In this work, the focus is the use of anaerobic effluent according to its profitable characteristics for the agriculture, with concentrations of nutrients and organic matter that usually don't attend the standards for discharge in rivers, consequently irrigation may be a solution. For the study of the viability of reusing effluents in irrigation there was investigated the application of three hydric lamina corresponding to the irrigation depth of 20cm, 40cm and 60cm, with the sanitary study carried out with samples taken from free draining collectors in depths of 25cm, 50cm, and 75cm from the soil base to the sewer. The analysis of culture development has been done by the study of the agricultural productivity of the corn. Results have been obtained and they indicate that: when the irrigation is done with a rigid control of the frequency of irrigation, the percolation of the liquids is minimized; nitrate percolation occurs more frequently after the decreasing of the water demand of the plant; soil is an adequate environment for the survival of coliforms; reduction of the ammonia nitrogen is about 99%, being 95% absorbed by the plant; phosphorus has a reduction of about 95% returning to its natural reservoir, the soil; agriculture productivity with "sewage scenery" is the same as the "water scenery" with the fertilized soil; adequate irrigation depth for the utilization of effluent in agriculture is the same used by agronomists. The conclusion is that reuse of anaerobic effluent is advisable if nitrate and coliforms are carefully controlled.



## 1 INTRODUÇÃO

A conscientização da preservação e manutenção do ambiente, clara nos dias de hoje, faz com que técnicos da área de conhecimento envolvida com tais questões busquem aprimorar os sistemas de tratamento de efluentes, de forma que as matérias-primas consumidas pelas atividades humanas retornem para os ecossistemas de uma forma positiva, reduzindo a contaminação do meio e a eutrofização dos corpos de água pelo lançamento de efluentes domésticos. Além disso, a situação caótica que o futuro promete a respeito da falta de fontes de água para consumo, faz com que seja fundamental encontrar soluções para o reuso de efluentes.

A aplicação de efluentes na agricultura tem sido de grande emprego em indústrias alimentícias, cujo efluente pode ser aplicado diretamente na irrigação, conforme ressalta BASTOS *apud* FOLEGATTI (1999). Já os esgotos sanitários requerem um tratamento prévio para a sua aplicação.

Os esgotos são depurados por processos físico-químicos ou biológicos. Para os esgotos domésticos, é mais conveniente a utilização de processos biológicos que reproduzem, de certa forma, os processos naturais que ocorrem nos corpos hídricos quando do lançamento de despejos nos mesmos, através do fenômeno da autodepuração.

Entre os processos biológicos, existem os que se caracterizam pela digestão da matéria orgânica por microrganismos predominantemente aeróbios e os que se caracterizam por microrganismos predominantemente anaeróbios.

As características do processo aeróbio são, entre outras: geração de grande volume de lodo, necessidade de equipamentos mecânicos e necessidade de energia externa para aeração do sistema.

O processo anaeróbio gera menor volume de lodo, visto que a maior parte do substrato degradado é transformada em biogás. Não há necessidade de muitos equipamentos mecânicos e pode haver o aproveitamento de energia através da utilização do gás metano.

Porém, apesar das características favoráveis ao sistema anaeróbio, aliadas às condições ambientais de nosso país, este processo apresenta alta concentração de N-amoniacal em seu efluente final. A aplicação deste tipo de efluente em um sistema solo-planta pode ser de grande proveito pela planta que, conforme STEFANUTTI (1991), absorve principalmente as formas de nitrogênio iônicas ( $\text{NH}^{+4}$  e  $\text{NO}_3^-$ ).

Apresenta como característica desfavorável uma remoção insuficiente de patógenos, matéria orgânica e nutrientes, não atingindo os limites preconizados pela Resolução CONAMA nº 20, de 18 de junho de 1986, artigo 21, que estabelece a qualidade mínima de um efluente para o mesmo ser lançado em um corpo hídrico. A concentração de nitrogênio amoniacal atinge valores superiores à concentração máxima de 5,0 mg/L, requerendo um tratamento complementar.

Desta forma, torna-se necessário o pós-tratamento do efluente por outro sistema, para reduzir a carga de lançamento de nutrientes, a matéria orgânica e o excesso de sólidos totais a valores recomendados, e reduzir o número de patógenos aos corpos hídricos receptores.

Os métodos de pós-tratamento podem ser por lagoas de estabilização e de maturação, por lodos ativados, por disposição controlada no solo, entre outros.

A aplicação no solo é feita por métodos de pequena, média e larga escala de carga de aplicação. Dentre os métodos de larga escala, estão o do escoamento superficial, o da infiltração-percolação e o da irrigação.

O tratamento de efluentes secundários de esgotos domésticos através do processo de irrigação é promissor, visto que os nutrientes são absorvidos pela planta e incorporados ao solo. Os sólidos incorporam-se ao solo, melhorando sua estrutura (condicionador de solo) e os patógenos podem vir a ter uma remoção suplementar satisfatória devido à ação dos raios ultravioletas, da dessecação e da ação dos predadores biológicos no solo, conforme WHO (1989). Desta forma, pode ser considerado um método de pós-tratamento e reuso, visto que o mesmo fornece os nutrientes e matéria orgânica para o conjunto solo-planta e pode, adicionalmente, promover a recarga do aquífero.

Porém, para o desempenho adequado do sistema de irrigação, referindo-se à tratabilidade do efluente e à produtividade agrícola, são necessários cuidados na implantação e operação do sistema. São eles: implantação em um solo com boa capacidade drenante para manter uma boa aeração de forma a propiciar as reações necessárias para o tratamento do esgoto aplicado e para o bom desempenho da planta na zona radicular; operação com lâminas hídricas (cargas hidráulicas) que mantenham as condições necessárias para a tratabilidade do esgoto e para o bom metabolismo da planta.

Em vista destes cuidados, este projeto de pesquisa propõe a investigação do efeito da aplicação de lâminas hídricas adequadas no desempenho sanitário e agrícola deste processo de pós-tratamento.

O método de irrigação utilizando a técnica de aplicação por sulcos foi escolhido de forma a minimizar a liberação de aerossóis no ar quando da utilização da irrigação como método de pós-tratamento de efluentes. A utilização da técnica de sulcos traz outras vantagens, tais como a redução de equipamentos mecânicos que possam vir a interromper o processo e a minimização dos gastos de energia. Porém, conforme WHO (1989), devem ser tomados cuidados no controle da saúde daqueles que manipulam diretamente na irrigação com efluentes domésticos.

## **2 OBJETIVOS**

Propõe-se o reuso agrícola do efluente doméstico de um filtro anaeróbio em um sistema de irrigação por sulcos rasos, aliando os critérios de projeto da engenharia sanitária com os critérios de projeto da engenharia de irrigação, estudando o comportamento da produção da cultura, dos aspectos sanitários ao longo do perfil do solo quando se aplica somente a lâmina hídrica demandada pela cultura.

No aspecto sanitário, pretendeu-se avaliar a remoção de matéria orgânica (DBO e DQO), sólidos suspensos, nutrientes (N e P) e patógenos ao longo do perfil do solo.

No aspecto agronômico, tencionou-se avaliar o desempenho da cultura de milho em dois cenários: um com solo natural irrigado com efluente doméstico, e outro com o solo adubado com nutrientes e irrigado com água.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O tratamento de águas residuárias em processos de disposição no solo apresenta-se como uma forma de tratamento, reuso, disposição final e recarga do aquífero. De todos estes itens citados, a recarga do aquífero merece um certo cuidado, visto que a lixiviação de nutrientes, sais e sólidos dissolvidos pode acarretar a contaminação do mesmo, conforme ressalta BOWER (1998).

A parte sólida é retida pela estrutura do solo, fortalecendo-a e aumentando a capacidade de retenção de água. Os nutrientes são incorporados ao solo e absorvidos pela planta, beneficiando a produtividade agrícola da cultura plantada, enquanto os sais presentes no esgoto aplicado podem comprometer a salinidade do solo para a cultura cultivada, conforme ressalta BASTOS *apud* FOLEGATTI (1999).

Desta forma, para o bom desempenho do processo de tratamento de esgoto no solo, é necessário o controle de vários parâmetros, dentre os quais: solo com boa capacidade drenante (argilo-siltoso, conforme CAMPOS, 1999) de modo a lixiviar os sais presentes na zona de raízes; estrutura do solo, bem como taxa e frequência de aplicação adequada, de modo que ocorram as reações necessárias para a decomposição da matéria orgânica e que se garanta o metabolismo da planta.

O emprego da irrigação com águas residuárias aumenta a oferta hídrica para aplicação na agricultura, reduzindo a demanda de água para estes fins, visto que 70% da demanda hídrica no mundo se deve ao uso agrícola. Em regiões áridas e semi-áridas, como Israel, Líbano e países

vizinhos, segundo ANGELAKIS (1999), a irrigação com efluentes surge como forma de reduzir o consumo agrícola da água disponível, havendo um melhor compartilhamento da água para abastecimento humano com a irrigação das colheitas. FRIEDLER (1999), registra que, num futuro próximo, em Jeezrael Valley, Israel, a irrigação com efluente poderá corresponder a cerca de 80% de toda a irrigação local.

O reuso do esgoto na irrigação não ocorre somente nas regiões áridas. Países como França, Espanha, Austrália e Estados Unidos utilizam esta técnica. No Brasil, estudos desenvolvidos por KÖNIG (1997) e estudos desenvolvidos pelo PROSAB (Programa de Pesquisa em Saneamento Básico) demonstram um movimento nesta direção. A Tabela 3.1 apresenta as áreas irrigadas com águas residuárias em vários países do mundo, não se tendo valores desta aplicação no Brasil.

Porém, o reuso de efluentes não pode ser encarado como uma aplicação indiscriminada, sem critérios. Deve haver, conforme CORAUCCI FILHO et al (1998), um elo perfeito entre os objetivos e critérios da Engenharia Sanitária e os da Engenharia de Irrigação, de forma que o esgoto seja tratado no solo sem qualquer possibilidade de contaminação do lençol freático, ou da saturação de nutrientes no solo, entre outros. Para isso, HARUVY (1997) e VIEIRA (1995), ressaltam a necessidade de se escolher a plantação adequada e o dimensionamento do projeto de irrigação (turno de rega, taxa de aplicação, dentre outros) conveniente para se manterem as condições sanitárias mínimas exigidas por norma.

A Organização Mundial de Saúde (OMS) e o Banco Mundial, preocupados com a aplicação indiscriminada de esgoto na agricultura, convocaram, em 1985, uma reunião entre técnicos e cientistas, com o objetivo de discutir os aspectos sanitários envolvidos neste processo, visando atualizar os documentos relacionados ao setor. Desta reunião, saiu um relatório: “Declaração de Engelberg”.

Este documento declara a necessidade de normas que permitam a utilização adequada deste tipo de processo, visto o avanço tecnológico e o aumento deste tipo de tratamento de esgoto esperado para as décadas seguintes. Ressalta-se a importância desta modalidade de tratamento, visto a necessidade de se conservar os recursos hídricos, de se dispor os resíduos adequadamente,

de se controlar a contaminação da água, e de se produzir alimentos em muitos lugares do mundo. Desta forma, o documento declara a necessidade de revisão à luz de novas evidências epidemiológicas e da disponibilidade de novas tecnologias sanitárias e agrícolas.

Tabela 3.1 - Área irrigada com água residuária em diferentes países

País	Área Irrigada (ha)
China	1.330.000
México	250.000
Índia	73.000
Chile	16.000
Estados Unidos	13.500
Kuwait	12.000
Austrália	10.000
Israel	8.800
Tunísia	7.400
Alemanha	6.800
Peru	5.500
Argentina	3.700
Arábia Saudita	2.900
Sudão	2.800
África do Sul	1.800
Bahrein	800
TOTAL	1.745.000

Fonte: adaptado de GHEYI (1999)

Um outro fator abordado nesta reunião como de grande importância neste tipo de aplicação é o fator social. O comportamento do homem é um fator básico e determinante na transmissão de doenças oriundas das águas residuárias. A exposição do homem ao risco de doenças é controlada por fatores culturais e varia de uma sociedade para outra, e a aceitação desta sociedade a novas tecnologias pode afetar seriamente o êxito de sua implantação.

Como forma de tratamento adequado do esgoto doméstico, para posterior reuso, o documento aconselha o uso de lagoas de estabilização, pois apresentam bons resultados de controle do ponto de vista epidemiológico. Porém, é necessária a implantação de lagoas seguidas de um tratamento complementar, de modo a remover a DBO solúvel que não teve contato com a biomassa, conforme ressalta CAMPOS (1999). Para tal, podem ser empregadas lagoas de maturação.

O conteúdo da Declaração de Engelberg foi, posteriormente, utilizado para a elaboração das diretrizes para o uso adequado de esgoto e lodo na agricultura e psicultura, publicado pela WHO em 1989. A Tabela 3.2 apresenta o tratamento requerido para a aplicação de águas residuárias na agricultura.



Tabela 3.2 – Diretrizes recomendadas pela OMS para a qualidade microbiológica das águas residuárias utilizadas na agricultura<sup>1</sup>

Categoria	Condições de Aproveitamento	Grupo exposto	Nematóides Intestinais <sup>2</sup> (média aritmética ovos / 100 mL) <sup>3</sup>	Coliformes Fecais (média geométrica/ 100 mL)	Tratamento requerido
A	Culturas consumidas cruas, campos esportivos, jardins públicos	Trabalhadores, consumidores, público	≤ 1	≤ 1000 <sup>4</sup>	Série de Lagoas de Estabilização (tratamento equivalente)
B	Culturas de cereais, industriais e forrageiras, prados e árvores <sup>5</sup>	Trabalhadores	< 1	Não se recomenda nenhuma norma	Lagoas de Estabilização por 8 a 10 dias (tratamento equivalente)
C	Categoria B, sem os trabalhadores e o público estarem expostos	Ninguém	Não se aplica	Não se aplica	Sedimentação Primária

<sup>1</sup> Em casos específicos, deve-se considerar os fatores epidemiológicos, socioculturais de cada região e modificar os padrões de acordo com a sua exigência

<sup>2</sup> Espécies *Ascaris* e *Trichuris* e *Ancilostomas*

<sup>3</sup> Durante o período de irrigação

<sup>4</sup> Convém estabelecer uma diretriz mais restrita (<200 CF/100mL) para prado público, como os hotéis, onde o público pode entrar em contato direto.

No caso de árvores frutíferas, a irrigação deve cessar duas semanas antes da colheita da fruta e esta não deve ser colocada na superfície do solo. Não é conveniente irrigar por aspersão

Fonte: adaptado de WHO (1989)

### 3.1 REATORES ANAERÓBIOS

Conforme CHERNICHARO (1997), a aceitação e disseminação da tecnologia anaeróbia para o tratamento de esgotos domésticos, notadamente dos reatores UASB, colocam o Brasil em uma posição de vanguarda em nível mundial. Ultrapassado o descrédito a essa tecnologia, até o início dos anos 80, o emprego de tais reatores, principalmente os reatores UASB, se proliferou pelos estados brasileiros, inicialmente pelo Paraná e pela Bahia. O interesse por esta tecnologia se disseminou pelas instituições de pesquisa, tendo contribuído para a evolução e um maior emprego destes reatores na atualidade no Brasil.

Em princípio, todos os compostos orgânicos podem ser degradados pelos reatores anaeróbios, sendo que o processo se torna mais eficiente e mais econômico quando os dejetos são facilmente biodegradáveis.

Na aplicação para esgotos sanitários, esta tecnologia depende, de forma muito mais significativa, da temperatura dos esgotos, devido à baixa atividade das bactérias anaeróbias em temperaturas abaixo de 20°C e à inviabilidade econômica de aquecimento dos reatores. Desta forma, os reatores anaeróbios tornam-se bem mais atrativos para os países de clima tropical e subtropical.

Fazendo um paralelo entre os reatores anaeróbios e os aeróbios, encontram-se vantagens e desvantagens para tais sistemas. A Tabela 3.3 discrimina tais aspectos.

Os reatores anaeróbios apresentam tempo de residência celular maior que o tempo de detenção hidráulico, o que é de grande importância, visto que garante a digestão de todo material carbonáceo pela biomassa do reator.

Nos sistemas anaeróbios, a maior parte do material orgânico biodegradável é convertida em biogás (70 a 90%), restando uma pequena parcela, que é convertida em bioamassa microbiana (5 a 15%), a qual irá constituir o lodo excedente do sistema. Além da pouca quantidade

produzida, este lodo apresenta-se mais concentrado e com boas características de desidratação. O material não convertido em biogás ou em lodo deixa o reator como material não degradado (10 a 30%).

Tabela 3.3 – Vantagens e desvantagens do processo anaeróbio

Vantagens	Desvantagens
- baixa produção de lodo;	- bactérias susceptíveis à inibição por um grande número de compostos;
- baixo consumo de energia;	- partida do processo lenta, quando sem sementeira;
- baixa demanda de área;	- possibilidade de geração de maus odores;
- produção de gás metano;	- baixa remoção de nutrientes e patógenos;
- possibilidade de preservação da biomassa (tempo de retenção celular $\geq$ tempo de detenção hidráulico);	- necessidade de pós-tratamento.
- tolerância a altas cargas orgânicas.	

Fonte : adaptado de CHERNICHARO (1997)

Nos sistemas aeróbios, somente 40 a 50% do material orgânico biodegradável é convertido em biogás ( $\text{CO}_2$ ), sendo o restante convertido em biomassa microbiana ( 50 a 60%) ou não degradado (5 a 10%).

De acordo com esses valores, pode-se identificar uma maior produção de gás para reutilização, uma baixa produção de lodo, porém uma menor eficiência na remoção da matéria orgânica do efluente por parte dos reatores anaeróbios.

Os tipos de reatores anaeróbios variam em função da disposição da biomassa no reator. Nas lagoas anaeróbias (Figura 3.1) e nos decanto-digestores, como o tanque Imhoff e o tanque séptico (Figura 3.2), os sólidos suspensos decantam formando uma biomassa ativa no fundo do reator. Desta forma, há um comprometimento na remoção da DBO total, sendo necessário outro reator para a remoção da DBO solúvel, lagoa facultativa para as lagoas anaeróbias e filtros

anaeróbios para os decanto-digestores. A utilização de filtros anaeróbios após decanto-digestores é apresentada pela norma da ABNT 7229/93 e ABNT 13969/97. Existem os reatores de biomassa aderida, tendo como exemplo o filtro anaeróbio de fluxo ascendente ou descendente (Figura 3.3), no qual podem ser utilizados, como recheios, anéis de plástico, anéis de bambu (conforme CAMARGO,2000) e tiras de pneu (conforme REYEZ,1999). Outros processos são os reatores em que a biomassa é formada por auto-adesão, formando flocos e grânulos densos suspensos, que se dispõem em camadas de lodo ao longo do reator, denominados reatores manta de lodo ou reatores UASB (Figura 3.4).

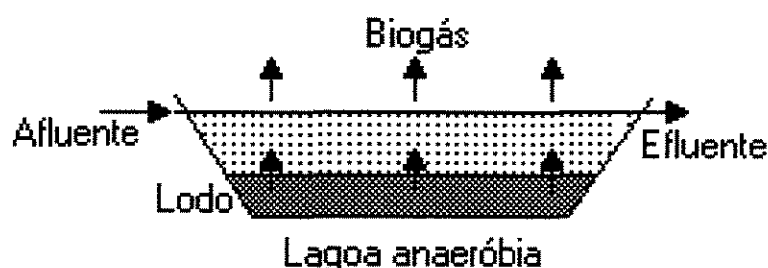


Figura 3.1 – Configuração de uma lagoa anaeróbia  
Fonte: adaptado de CAMPOS (1999)

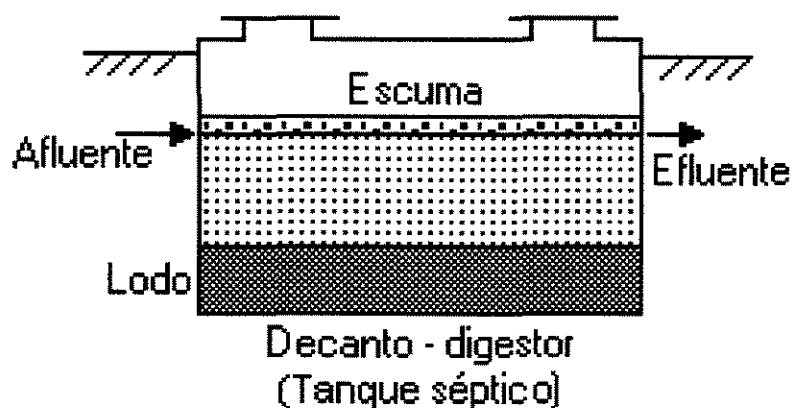


Figura 3.2 – Configuração de um decanto-digestor (tanque-séptico)  
Fonte: adaptado de CAMPOS (1999)

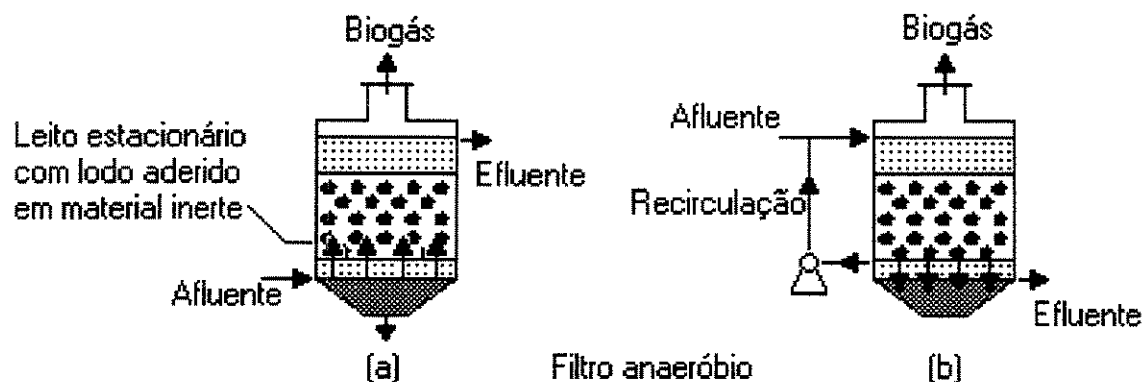


Figura 3.3 – Configuração de um filtro anaeróbio de fluxo ascendente (a) e de fluxo descendente com recirculação do efluente (b)  
 Fonte: adaptado de CAMPOS (1999)

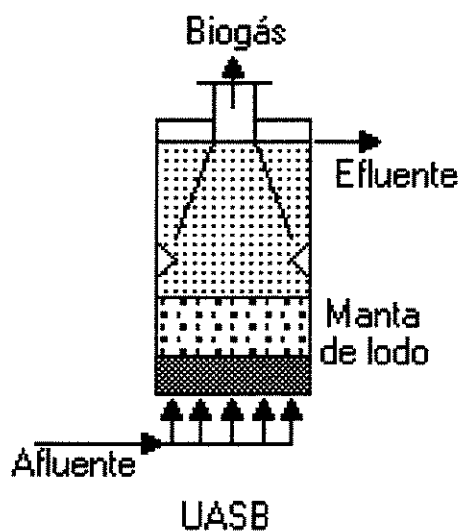


Figura 3.4 – Configuração de um reator manta de lodo (UASB)  
 Fonte: adaptado de CAMPOS (1999)

Os estudos desenvolvidos por CAMARGO (2000), na utilização de anéis de bambu como recheio, para tempos de detenção hidráulica distintos em filtros anaeróbios, de fluxo ascendente, apresentaram os seguintes resultados: o valor médio da concentração da DBO final foi de 143 mg/L, acima, portanto, dos 60mg/L exigidos pela legislação; o gradiente de remoção de DQO e sólidos, ao longo da altura dos filtros, foi maior até aproximadamente 40cm de altura, indicando que filtros com pouca altura de meio suporte apresentam desempenho adequado; o efluente

atendeu à remoção de sólidos sedimentáveis com concentrações inferiores a 1mg/L; a eficiência na remoção de N e P foi pequena e, às vezes, nula no decorrer do monitoramento dos filtros.

### **3.2 DISPOSIÇÃO DE ESGOTO NO SOLO**

A disposição de esgoto no solo é uma técnica de disposição final, tratamento e reuso pelo reator solo-planta das características físico-químicas do efluente ou lodo aplicado. É também uma forma de devolver os elementos aos seus reservatórios naturais: o N e o C à atmosfera ( $N_2$  e  $CO_2$ ) e o P ao solo.

A parte do despejo que infiltra no solo sofre o tratamento por percolação, o que possibilita as ações de adsorção e as atividades dos microrganismos, que convertem a matéria orgânica em matéria mineralizada (nutrientes), que fica à disposição da vegetação e se incorpora ao solo. Desta forma, ocorre o reuso agrícola. Outra forma de reuso é a recarga do lençol freático.

A escolha do método de tratamento a ser utilizado será função da finalidade do empreendimento, das características locais, tais como clima, solo, topografia, aspectos regionais, dentre outros.

O tratamento no solo é um sistema controlado, não podendo ser confundido com o despejo e lançamento indiscriminado de resíduos.

Dentre as vantagens do emprego de efluentes no solo pode-se citar: benefício agrícola, baixo investimento, pequeno custo de operação, baixo consumo de energia e, na maioria dos casos, a não-existência de descargas em corpos hídricos. Pode funcionar também como tratamento terciário. Porém, a disposição de despejos em áreas distantes mais de 20 km não é economicamente viável, conforme USEPA (1981).

### 3.2.1 Degradação do Substrato no Solo

A aplicação dos despejos no solo, conforme CAMPOS (1999), tem como objetivo o tratamento ou melhoria da qualidade do substrato aplicado. Tais objetivos são atingidos com a remoção de compostos orgânicos e inorgânicos. O tratamento adequado visa à reposição de todos os sais minerais para os seus reservatórios naturais no meio ambiente: carbono, oxigênio e nitrogênio na atmosfera; fósforo, potássio, enxofre, dentre outros, no solo. Tais materiais podem ser posteriormente retirados atendendo à dinâmica dos ciclos biogeoquímicos.

Os parâmetros de controle e operação do sistema, como a lâmina hídrica, o período e a frequência de aplicação, devem ser aplicados em quantidade que o sistema solo-planta possa suportar. As características do solo, relevo, clima, área disponível, bem como a vazão de efluente que se deseja tratar são fundamentais para a escolha do método a ser empregado.

Solos que recebem alta concentração de substrato têm, em pouco tempo, seu desempenho no tratamento prejudicado, exigindo uma interrupção na atividade de disposição.

A remoção de nutrientes se deve ao contato do efluente com a matriz do solo e a capacidade de absorção das plantas. A capacidade de absorção de um solo é reduzida com o passar do tempo, sendo necessárias a adoção de práticas agrícolas, como a rotação de culturas.

Os principais nutrientes utilizados pelas plantas são o nitrogênio, o fósforo e o potássio, e ainda o enxofre, o cálcio e o magnésio. A remoção de nutrientes pelos processos de aplicação de efluentes de esgotos municipais é muito eficiente.

Conforme SMITH & SCHROEDER *apud* CAMPOS (1999), a possível seqüência de remoção de nitrogênio pelos sistemas de disposição no solo é a seguinte:

- A amônia é inicialmente removida por troca iônica na superfície do solo;
- a amônia é nitrificada no intervalo entre duas aplicações nos locais onde ocorrem condições aeróbias;
- parte do nitrato formado durante a fase de secagem pode ser desnitrificado se houver condições anaeróbias em regiões do solo com presença de material carbonáceo. O nitrato remanescente acompanha o efluente.

O fato de a desnitrificação exigir maior quantidade de carbono implica que a melhor eficiência do processo ocorrerá em efluentes em que haja uma adequada relação entre carbono e nitrogênio. O tratamento apresenta bons resultados para esgotos domésticos.

A remoção de fósforo existente no solo envolve a precipitação química com ferro, alumínio e cálcio, que são muito abundantes no solo; diversos mecanismos como adsorção por hidróxidos de ferro, hidróxidos de alumínio e minerais argilosos; imobilização na forma de compostos orgânicos na camada do lodo biológico e nos colóides contidos no solo; e utilização no metabolismo da vegetação.

### **3.2.2 Descrição dos Métodos de Larga Escala**

Os métodos de disposição de esgoto no solo podem ser divididos em três classes: métodos de pequena, média e larga escala. Essa classificação se refere à vazão de esgoto tratada por cada sistema. Os métodos de pequena escala se referem aos sumidouros, valas de filtração e valas de infiltração, entre outros. Os métodos de média escala se referem ao filtro de areia e ao “wetland”,



e os métodos de larga escala, que serão abordados neste subcapítulo, se referem ao escoamento superficial, à infiltração-percolação e à irrigação.

Comparando os métodos de larga escala, pode-se dizer, a partir dos resultados da Tabela 3.4 apresentados pela USEPA, 1981, que a irrigação produz efluente de melhor qualidade entre os métodos de tratamento por irrigação, escoamento superficial e infiltração-percolação.

Tabela 3.4 – Qualidade esperada do efluente tratado por aplicação no solo<sup>a</sup>

Constituintes	Irrigação <sup>b</sup>		Infiltração-Percolação <sup>c</sup>		Escoamento Superficial <sup>d</sup>	
	Média	Máximo	Média	Máximo	Média	Máximo
DBO (mg O <sub>2</sub> /L)	<2	<5	5	<10	10	<15
Sólidos Suspensos <sup>g</sup>	<1	<5	2	<5	10	<20
Nitrogênio Amoniacal <sup>g</sup>	0,5	<2	0,5	<2	<4	<8
Nitrogênio Total <sup>g</sup>	3 <sup>e</sup>	<8 <sup>e</sup>	10	<20	5 <sup>f</sup>	<10 <sup>f</sup>
Fósforo Total <sup>g</sup>	<0,1	<0,3	1	<5	4	<6
Coliformes Fecais (NMP/100mL)	0	<10	10	<200	200	<2000

<sup>a</sup> Taxas de Aplicação: Irrigação (1,3 a 5 cm/sem); Infiltração-Percolação (10 a 120 cm/sem); Escoamento Superficial (6 a 20 cm/sem)

<sup>b</sup> Percolação de efluente primário ou secundário por 1,5m de solo insaturado

<sup>c</sup> Percolação de efluente primário ou secundário por 4,5m de solo insaturado; remoção de CF e fósforo reforçada pela distância

<sup>d</sup> Rampa de 30 a 36 m

<sup>e</sup> Concentração depende da taxa aplicada e do cultivo.

<sup>f</sup> Altos valores são esperados quando operando em inverno moderado ou com aplicação de altas taxas para efluente secundário.

<sup>g</sup> Unidades em mg/L

Fonte: adaptado de USEPA (1981)

### Escoamento Superficial

Constitui-se de um método em que o efluente é aplicado por aspersores ou tubos furados localizados no patamar de uma rampa de cerca de 50m. Esta rampa é constituída de solo com baixa permeabilidade, como os argilosos, com declividade de 2% a 8%, no qual são plantadas, de preferência, gramíneas. À medida que o efluente percola no terreno, uma parcela vai para a atmosfera por evapotranspiração, parte infiltra no solo e o restante é coletado por canais que ficam no final da rampa. Na grama, estabelecem-se os microrganismos, configurando o reator

deste método de tratamento. A Figura 3.5 ilustra uma rampa com sistema de distribuição por tubos furados.

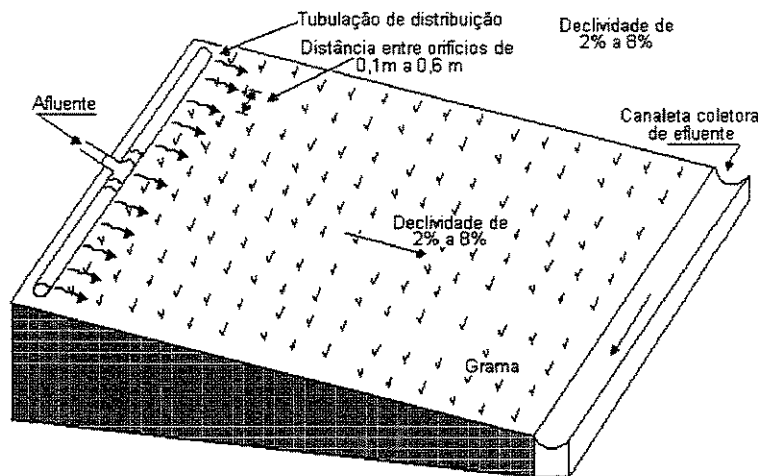


Figura 3.5 – Configuração do Método de Escoamento Superficial  
Fonte: adaptado de CAMPOS (1999)

### Infiltração – Percolação

Método que depende do tipo e da geologia do solo, exigindo que este seja muito permeável com formação geológica extensa. A tratabilidade está associada à textura, à estrutura e à espessura da camada não-drenante do solo. A remoção dos poluentes é feita pela “filtração” das substâncias contidas nos efluentes percolados pelo solo. A capacidade de remoção de nutrientes pelo solo é limitada quando se usa alta taxa de aplicação. O tratamento físico, químico e biológico no solo ocorre devido à passagem do efluente por sua matriz, tendo como objetivos: a recarga do lençol freático; reutilização dessa água para atender a diferentes usos e finalidades. Com o tempo, este solo perde sua capacidade drenante e eficiência com possível intumescimento, bem como provável ocorrência de sua salinização pela presença de sais no solo e no lençol com a possível colmatção do solo. ANDREOLI *apud* CAMPOS (1999), adotando taxas de aplicação variáveis com a profundidade de leito filtrante, utilizando reatores piloto de laboratórios, com

alturas de 40cm, 80cm e 120cm de areia média, da região litorânea do Espírito Santo, e ciclo operacional constituído de 2 dias de aplicação e cinco de descanso, obteve resultados de eficiências de remoção de DQO e SS variando entre 80% e 90%. A Figura 3.6 ilustra o método de infiltração-percolação.

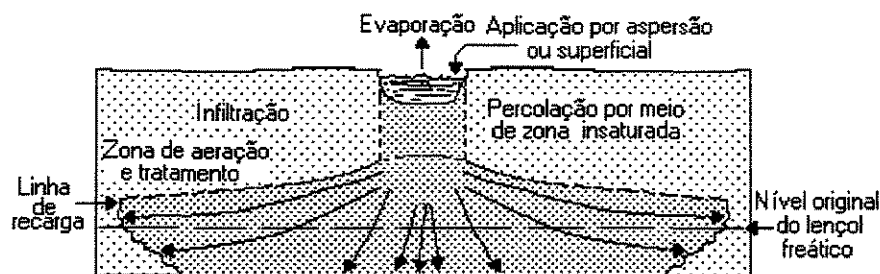


Figura 3.6 – Configuração do Método de Infiltração-Percolação  
Fonte: adaptado de CAMPOS (1999)

### Irrigação

Método de tratamento e reuso do efluente aplicado que tem como condicionantes o tipo de solo, a demanda hídrica da cultura, a frequência de irrigação, a técnica de irrigação utilizada. É um método promissor no tratamento posterior do esgoto tratado e, como apresentado na Tabela 3.4, apresenta o efluente de melhor qualidade. Outros esclarecimentos sobre a irrigação serão tratados em subcapítulo à parte.

### **3.3 IRRIGAÇÃO**

A irrigação pode ser definida como a aplicação de água no solo com o objetivo de atender à demanda hídrica da planta. Porém, conforme ressalta VIEIRA (1995), irrigar não é “molhar”, e sim disponibilizar à planta a quantidade requerida de água através de sistema de irrigação compatível com o tipo de solo, declividade do terreno, capacidade de retenção de água no solo e tipo de cultura, tendo como objetivo aumentar a produtividade e qualidade do produto ou obter colheitas fora das épocas normais, sem os inconvenientes da saturação do solo e das perdas por percolação, as quais podem comprometer o lençol freático.

Nas regiões áridas e semi-áridas, a irrigação é essencial para a viabilidade econômica da agricultura, conforme salienta PESCOD (1992), enquanto em regiões úmidas e semi-úmidas, a irrigação é requerida de forma suplementar, com o objetivo de corrigir a distribuição irregular das chuvas ao longo do ano, não comprometendo, assim, o metabolismo da planta, conforme VIEIRA (1995).

#### **3.3.1 Condições Básicas para uma Irrigação Eficiente**

Para desenvolver uma irrigação eficiente, GHEYI (1999), aconselha a adoção das seguintes medidas básicas:

- aplicação da quantidade de água necessária;
- irrigação com água de qualidade aceitável;
- estabelecimento de uma frequência adequada de irrigação;

- emprego de técnicas convenientes de irrigação;
- prevenção da salinização na zona radicular por meio de lixiviação;
- controle do acúmulo de água sobre a superfície do solo, mediante uma drenagem apropriada;
- manejo adequado dos nutrientes para os cultivos.

### **Aplicação da quantidade de água necessária**

Aproximadamente 99% da água absorvida pela planta é perdida pelos processos de transpiração e evaporação. Portanto, a água requerida pela planta é equivalente ao requerido pelo processo de evapotranspiração. A evapotranspiração pela planta depende das características do clima (umidade relativa, temperatura, ventos e outros fatores) e do tipo de cultura. Deve-se levar em consideração que a chuva constitui um aporte considerável de água nas regiões com altas precipitações, embora, em regiões áridas, esta quantidade seja mínima. A necessidade hídrica do milho está em torno de 500 a 800 mm/ciclo, conforme DOORENBOS & KASSAM (1979) *apud* GHEYI (1999).

### **Qualidade da água aplicada**

A qualidade da água depende das condições climáticas locais, das características físicas e químicas do solo, da tolerância da cultura à salinidade, das práticas agronômicas (manejo do cultivo) e da técnica de irrigação empregada.

A Tabela 3.5 apresenta alguns valores mínimos exigidos para a qualidade da água para a irrigação

Tabela 3.5 – Alguns parâmetros exigidos para a qualidade da água para irrigação

Parâmetro	Qualidade da Água para a Irrigação
pH	6,5-8,4
Sólidos Dissolvidos Totais	<2000
Nitrogênio Total	<30
Cloro	<350
Sódio	<70
Boro	<3

Fonte: adaptado de USEPA (1992)

Notas: (1) Todas as unidades em mg/L, exceto pH.

### Frequência de irrigação

A irrigação deve ser realizada antes que a umidade do solo alcance teores abaixo do valor mínimo necessário para a obtenção de uma boa produtividade agrícola para o cultivo. Este valor limite corresponde ao potencial matricial crítico do solo ( $\Psi_c$ ), ou seja, valor acima do qual a planta começa a perder em produtividade devido ao esforço que a mesma tem de realizar para absorver a água do solo contra os esforços de absorção e capilaridade da água no solo. A esse potencial matricial corresponde uma umidade denominada umidade crítica (UC), situada entre os valores de umidade correspondente à capacidade máxima de retenção de água no solo, denominada capacidade de campo (CC), acima da qual o líquido lixivia, ultrapassando a zona de raízes, e à umidade remanescente quando ocorre e se mantém a murcha da planta, denominado ponto de murchamento (PM).

Os valores da UC, CC e PM são retirados da curva característica de água no solo. A capacidade de campo corresponde a um potencial matricial de -0,1 bar; o ponto de murchamento

corresponde a um potencial matricial de -15 bar, e a umidade crítica varia em função do tipo de cultura escolhida. No caso do milho, varia entre -0,5 bar e -1,5 bar. A Figura 3.7 apresenta a curva característica de água do solo para uma determinada área, onde foi adotado como potencial matricial crítico do milho o valor de -0,8 bar.

Desta forma, para o metabolismo adequado da planta, deve-se controlar a umidade do solo para valores entre a UC e a CC. Quando a umidade do solo atinge valores próximos à umidade crítica, aplica-se uma quantidade de água correspondente à lâmina hídrica líquida ( $H_i$ ), a qual é calculada em função de parâmetros característicos do solo e da cultura irrigada. Desta forma, restaura-se a umidade do solo para valores próximos à capacidade de campo. A Figura 3.8 ilustra uma irrigação que opera entre os valores de umidade mínima e máxima para garantia do metabolismo da planta e que, em um dia, ultrapassa a umidade máxima, ou seja, lixivia uma certa quantidade de água pelo solo.

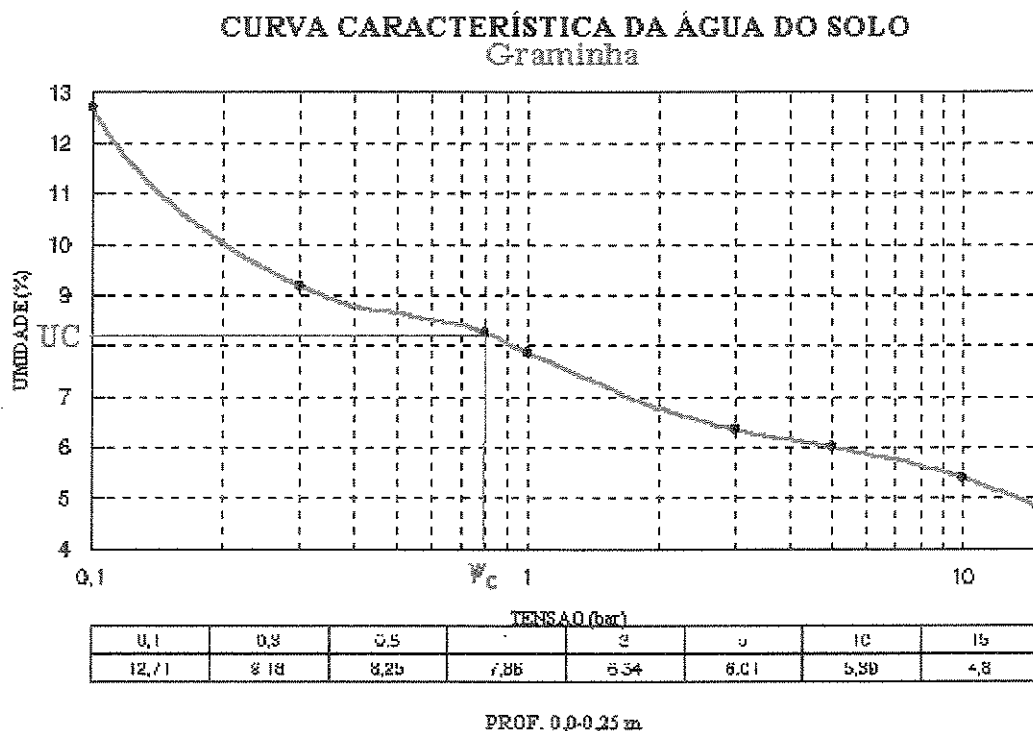


Figura 3.7 – Ilustração de curva característica de água no solo identificando a umidade crítica (UC) para um determinado valor de potencial matricial do solo ( $\Psi_c$ ) para a cultura do milho.

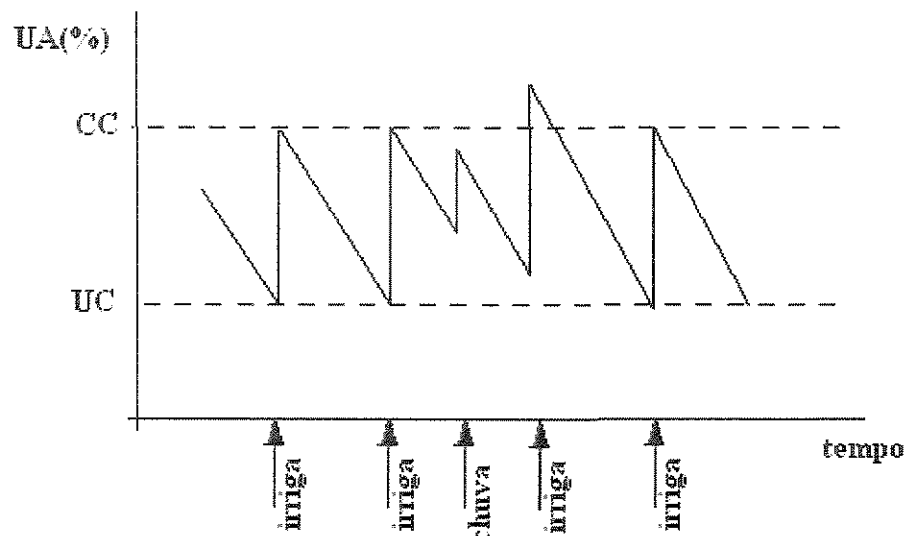


Figura 3.8 – Ilustração do controle de irrigação, havendo uma irrigação antecipada que teve como consequência a provável lixiviação do líquido.

### Técnicas de Irrigação

As principais possíveis técnicas de irrigação com águas residuárias são: aspersão; inundação; sulcos; localizada (gotejamento e microaspersão) e subsuperficial (Figura 3.9).

Para evitar entupimentos nos equipamentos, é necessário tratamento simples para remoção de sólidos dos esgotos. Para irrigação por inundação ou por sulcos, não é necessário mais que um simples gradeamento para os sólidos grosseiros; a concentração de sólidos deve ser baixa, o que requer no mínimo uma decantação. Aqui, no entanto, interessa correlacionar o grau de tratamento necessário com a técnica de irrigação empregada, em função do risco de transmissão de doenças.



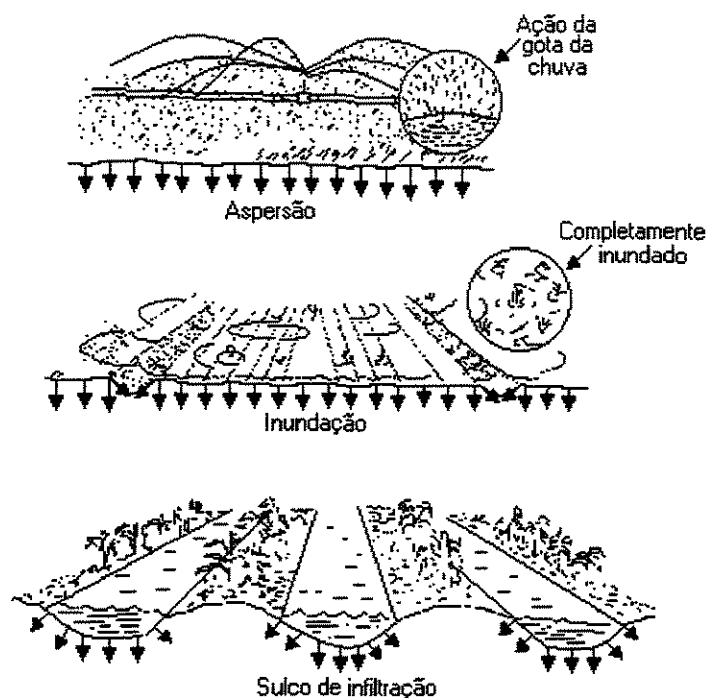


Figura 3.9 – Algumas das técnicas de irrigação mais utilizadas para tratamento das águas residuárias

Fonte: adaptado de Economic and Technical Review Report (1975) *apud* CAMPOS (1999)

Para a saúde pública, a irrigação com águas residuárias por aspersão é a mais perigosa. Os aerossóis, contendo micróbios, podem ser transportados pelo vento à distância de mais de 1 km (FEACHEM et al., 1980; PEARSON, 1986). Embora HESPANHOL (1988) relate que a distância mínima de 50 a 100 metros de estradas públicas e residências seja suficiente como proteção a possíveis problemas reais à saúde por causa dos aerossóis, é prudente salientar que as bactérias são mais infectivas quando inaladas do que quando ingeridas (FEACHEM et al., 1980) e, assim, trabalhadores do campo e moradores vizinhos podem ser infectados por inalação. Além disso, o sistema de aspersão contamina não só toda a área irrigada, como também folhas e frutos.

Nos métodos de irrigação utilizando técnicas por inundação e sulcos, o risco de contato direto com a cultura é evidente, assim como para os trabalhadores representa risco elevado, apesar de os sistemas de sulcos apresentarem um menor risco, pois permitem um menor contato comparado com o sistema por inundação.

Nos métodos de irrigação subsuperficial, o contato direto com folhas e frutos pode ser evitado, e os riscos para o agricultor são também baixos. Porém, problemas de entupimento são freqüentes neste sistema e pioram quando se aplicam águas residuárias. As obstruções são geradas por partículas minerais, orgânicas e precipitados químicos. A irrigação subsuperficial praticamente não oferece quaisquer riscos sanitários, com um mínimo de cuidado. As vantagens e desvantagens de cada método de aplicação de águas residuárias estão mostradas na Tabela 3.6.

### **Lixiviação**

Uma quantidade de água maior que a lâmina hídrica requerida ( $H_i$ ) pela planta é necessária para remover o excesso de sais acumulados na zona radicular como resultado da evapotranspiração do líquido irrigado. O controle da salinidade com uma lixiviação efetiva na zona de raízes torna-se mais importante quanto maior for a salinidade do líquido irrigado, conforme PESCOD (1992), e em regiões com precipitações atmosféricas abaixo de 700mm / ano.

### **Drenagem**

Drenagem é definida como a remoção do excesso de água da zona radicular de modo a permitir o metabolismo adequado da planta. É particularmente importante em regiões com o lençol freático superficial, onde o transporte de sais até a superfície pode ocorrer por capilaridade e, em seguida, concentrar-se pela evaporação, ocorrendo a colmatação do solo, conforme ressalta GHEYI (1999). CAMPOS (1999) aconselha o emprego de irrigação em solos argilo-siltosos, os quais possuem uma boa drenagem.

Tabela 3.6 –Fatores que afetam a seleção da técnica de irrigação e medidas necessárias quando se utilizam águas residuárias.

Técnica de irrigação	Fatores que afetam a seleção	Medidas especiais para águas residuárias
Irrigação por inundação	Custo mínimo de implantação, não requer a sistematização do terreno	Proteção completa para os trabalhadores do campo, para os que manipulam as colheitas e os consumidores.
Irrigação por sulcos	Custo reduzido, geralmente precisa do nivelamento do terreno	Proteção para os trabalhadores do campo: é, às vezes, também para os que manipulam as colheitas e para os consumidores.
Irrigação por aspersão	Aproveitamento médio da água não requer a sistematização do terreno	Não devem ser cultivados alguns produtos da categoria B <sup>1</sup> , sobretudo frutíferas. A distância mínima é de 50 a 100 m para vilas e estradas públicas. Não devem ser utilizados resíduos anaeróbios, devido ao mau odor.
Irrigação subsuperficial ou localizada	Custo elevado, maior aproveitamento de água e colheitas com maiores produtividades.	Deve-se filtrar a água para evitar problemas de entupimentos nos emissores.

1 – Categoria B: Neste grupo de cultivo, os trabalhadores do campo são também o primeiro grupo de risco, porém podem existir riscos indiretos para o consumidor. Nesta categoria, incluem-se: cultivos de pastagens e forrageiras consumidas verdes; cultivo cujo produto para o consumo humano não entre em contato direto com as águas residuárias; cultivos cujos produtos sejam ingeridos cozidos; cultivos cujos produtos sejam consumidos após serem descascados; qualquer cultivo irrigado por aspersão(vide Tabela 3.2).

Fonte: adaptado de GHEYI (1999)

### **3.3.2.Ciclo Vegetativo das Plantas**

A maior parcela de água necessária para a planta depende basicamente da demanda evaporativa atmosférica, conforme ressalta VIEIRA (1999). Porém, existem os períodos críticos do seu ciclo vegetativo nos quais a demanda de água pela planta é maior. O não fornecimento da água necessária nestes períodos pode comprometer a produção de toda uma safra.

O ciclo vegetativo, ou fenológico, é caracterizado pelos seguintes estágios, descritos por VIEIRA (1999):

- **Estágio Inicial**

Vai da sementeira até a germinação completa. Em uma cultura irrigada é conveniente a irrigação de pré-semeadura, a fim de proporcionar condições de umidade necessárias para induzir o processo de germinação das sementes. Desta forma, é possível a obtenção de mais de uma safra de uma cultura no mesmo ano.

No estágio inicial, conforme RESENDE *apud* BÜLL (1993), deve ser mantida uma profundidade de irrigação de 20cm, de forma a fornecer o mínimo de água necessária para o processo de germinação.

#### ▪ Estágio de Desenvolvimento

Vai da germinação completa até o início da floração. Refere-se ao período de crescimento vegetativo da planta, em que a manutenção da umidade requerida pelo solo deve ser mantida para garantir uma planta vigorosa.

#### ▪ Estágio Intermediário

Vai da floração até o início do amadurecimento. A floração inicia-se quando a planta emite sua brotação e conseqüente emissão de botões florais. Nesta fase, a irrigação deve ser conduzida com a maior precisão possível, pois qualquer deficiência na aplicação pode comprometer todo o processo. Neste estágio, ocorrem a inflorescência masculina (pendão) e a inflorescência feminina (espiga) no milho.

#### ▪ Estágio da Maturação

A identificação do início da maturação varia de acordo com a espécie vegetal. No caso do milho, corresponde ao estágio em que a inserção do grão na espiga está necrosada, apresentando uma coloração preta. O fluxo de seiva para a espiga é interrompido, não sendo mais necessária a irrigação do cultivo.

É a fase em que o fruto, seja grão, tubérculo ou fruta, adquire as melhores condições de tamanho, cor, aroma, consistência e sabor.

## ▪ Estágio Final

Vai da maturação completa até a colheita. Nesta fase, não se irriga, sendo necessária uma estiagem para que o produto atinja as condições ideais de umidade para a colheita.

A Figura 3.10 ilustra o ciclo vegetativo para a cultura do milho. A duração de cada safra depende da variedade, clima, época do ano e de dados locais, devendo-se consultar a literatura a respeito, conforme ressalta VIEIRA (1999).

Ao longo do ciclo, a demanda hídrica da planta varia. Para o controle adequado de quando fornecer água para a planta, ou seja, de quando irrigar, é utilizado um fator denominado coeficiente de demanda hídrica da cultura, que varia de acordo com o estágio em que a planta se encontra, alterando seus valores, inclusive dentro do estágio. A Figura 3.11 apresenta a variação do coeficiente de demanda hídrica do milho ( $k_c$ ) ao longo do ciclo vegetativo, na qual pode-se observar uma queda da necessidade hídrica da cultura após o estágio de desenvolvimento.

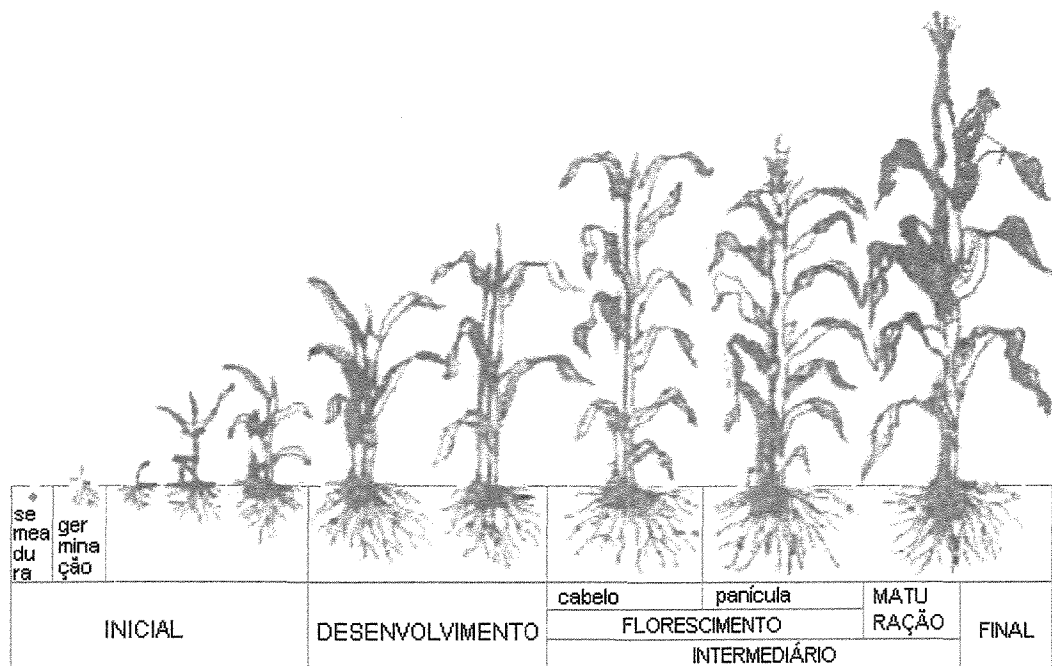


Figura 3.10 – Estágios do ciclo vegetativo do milho (estágio inicial, desenvolvimento, intermediário, maturação e final)

Fonte: VIEIRA (1999)

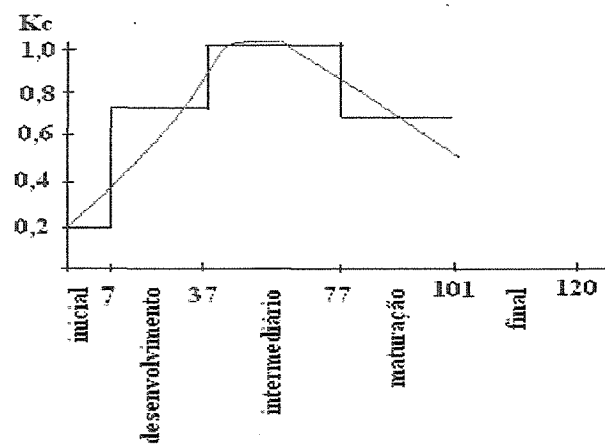


Figura 3.11 – Relação do coeficiente de demanda hídrica do milho ( $k_c$ ) com os dias de duração do ciclo vegetativo.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 LOCALIZAÇÃO DO PROJETO

O trabalho em questão foi instalado em um lote de terreno vizinho à ETE Graminha, estação esta pertencente e monitorada pela Companhia Águas de Limeira S.A., situada na cidade de Limeira, SP, conforme apresentado na Figura 4.1.

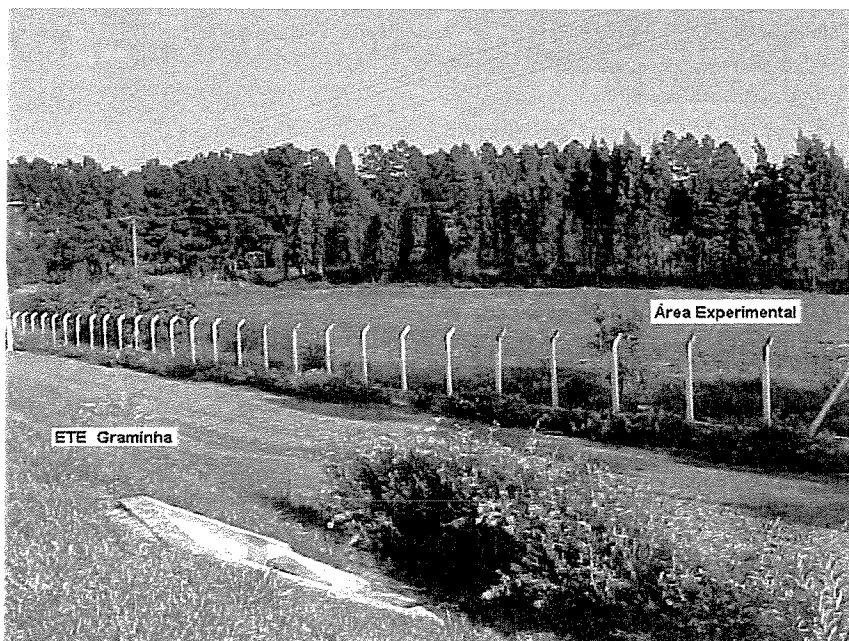


Figura 4.1 – Terreno adjacente à ETE Graminha, Limeira, SP, onde foi instalado o sistema de irrigação (solo natural).



## 4.2 ORGANIZAÇÃO DO PROJETO

O efluente aplicado no sistema de irrigação era proveniente de um conjunto de quatro filtros anaeróbios de fluxo ascendente com capacidade individual de 500L e tendo, em seu interior, recheio de anéis de bambu para a fixação do biofilme celular (Edital 1, tema 2, PROSAB). Estes reatores encontram-se instalados na ETE Graminha, conforme apresentado na Figura 4.2. O estudo do desempenho deste reator para tempos de detenção variados foi objeto de dissertação de mestrado apresentado por CAMARGO (2000). Ao longo do projeto de irrigação, os reatores foram operados com o tempo de detenção hidráulico de 3 horas, para poder atender a quantidade de efluente necessária para satisfazer a demanda hídrica da cultura.

No presente trabalho, buscou-se otimizar as deficiências do tratamento anaeróbio com as necessidades do sistema solo-planta, encontrando a irrigação como um bom método para a recuperação de nutrientes e disposição da matéria orgânica.

Foi analisada a qualidade sanitária do líquido percolado ao longo dos primeiros metros do perfil do solo e a produtividade da cultura de milho em três safras: duas safras de seca intercaladas por uma de chuva.

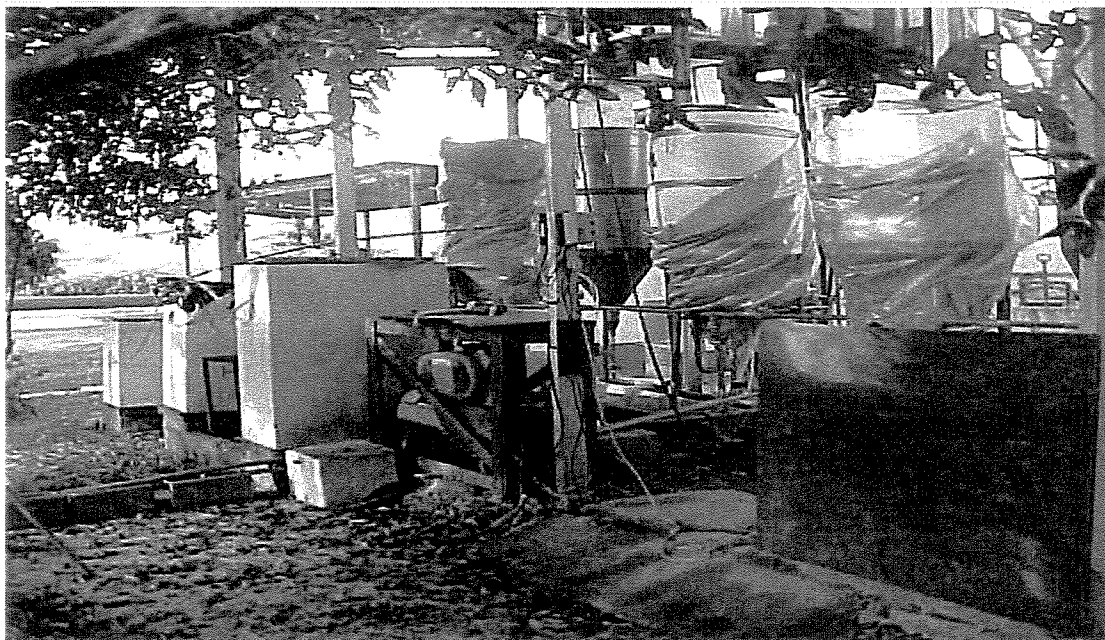


Figura 4.2 – ETE Piloto – Filtros Anaeróbios instalados no interior das dependências da ETE Graminha, Cia. Águas de Limeira S.A., Limeira, SP.

### **4.3 IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA**

Para a implantação do sistema de irrigação foram realizados levantamentos iniciais para a obtenção de parâmetros necessários para o dimensionamento e implantação do sistema.

#### **4.3.1 Ensaios preliminares**

Foram realizados os ensaios físicos do solo, ensaios de fertilidade e levantamento topográfico do terreno.

Dentre os ensaios físicos, realizados no Laboratório de Hidrologia da Faculdade de Engenharia Civil / Unicamp, constam as determinações da densidade global, do levantamento da curva característica e da curva granulométrica. Para esses ensaios, foi realizada coleta de

amostras em três pontos distintos da área destinada ao plantio, nas camadas de 0-25cm, 25-50cm, 50-75cm, 75-100cm. Os pontos de coleta foram realizados nos locais onde foram implantadas as três repetições do experimento.

O ensaio da densidade global, ou peso específico aparente, foi realizado com o auxílio do amostrador de Uhland. No laboratório, esta amostra foi transferida para um cilindro de volume e tara conhecida. Colocou-se este conjunto em estufa a 110°C por 24 horas, e foi feita a leitura do peso seco do solo. Calculou-se a densidade global com a diferença entre o peso seco e a tara, divididos pelo volume conhecido do recipiente de alumínio (Equação 4.1).

$$Dg = \frac{(PS - T)}{V} \quad \text{(Equação 4.1)}$$

Onde,

Dg – densidade global do solo (g/cm<sup>3</sup>)

PS – peso seco (g)

T – Tara, correspondente ao peso do recipiente de alumínio(g)

V – volume do recipiente de alumínio

O levantamento da curva granulométrica foi realizado pela análise granulométrica conjunta, a qual é composta de duas fases de ensaio que são: peneiramento e sedimentação.

A determinação da curva característica para cada camada de solo foi realizada pela aplicação de pressões entre 0,1bar (Capacidade de Campo) e 15bar (Ponto de Murchamento) no aparelho de Richards. Foram levantadas curvas características do solo para as camadas de 0 a 25cm, de 25 a 50cm, de 50 a 75 cm, e de 75 a 100 cm.

O levantamento topográfico da área experimental foi realizado com equipamento GPS, identificando todas as singularidades existentes na área, bem como o nível d'água dos córregos e rios adjacentes à área de plantio antes da implantação do projeto, em setembro de 2000. A Figura A.9, no anexo A, apresenta o levantamento topográfico realizado na Área Experimental. Este levantamento, junto com o estudo do sentido do lençol freático, serviu de base para definir a melhor posição de implantação do sistema. O estudo do sentido do lençol freático é apresentado na Figura A.10, no anexo A.

#### **4.3.2 Preparo do solo**

Após o término dos ensaios preliminares, deu-se início ao preparo do solo para o cultivo. Para tal, foram realizados os serviços de aração e gradeamento mecanizado do solo, conforme apresentado na Figura 4.3. A correção do solo com calcáreo (conforme recomendações de RAIJ et al, 1996), ilustrada na Figura 4.4, foi realizada com um período de descanso superior a 60 dias.



Figura 4.3 – Aspecto do solo após aração e gradeamento

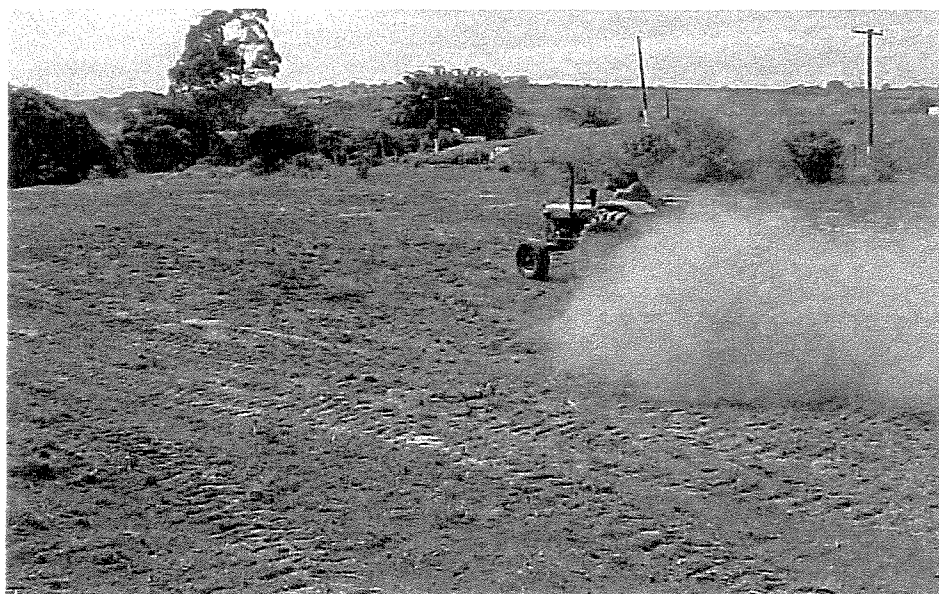


Figura 4.4 - Detalhe da aplicação de calcáreo para correção do pH do solo

#### 4.3.3 Estrutura do Projeto

O sistema de irrigação foi implantado em parcelas, as quais correspondem à unidade experimental do sistema. Cada parcela era composta de quatro sulcos com 4,0m de comprimento e com a distância de 1,0 m entre cada sulco, com cinco linhas de plantio, sendo que duas eram bordaduras. A Figura 4.5 apresenta o esquema de uma parcela, e a Figura 4.6, a parcela sendo implantada na área experimental. O nivelamento foi realizado com nível de pedreiro sobre régua de 4m de comprimento. A largura do sulco, de 20cm, teve como referência a largura de um enxadão.

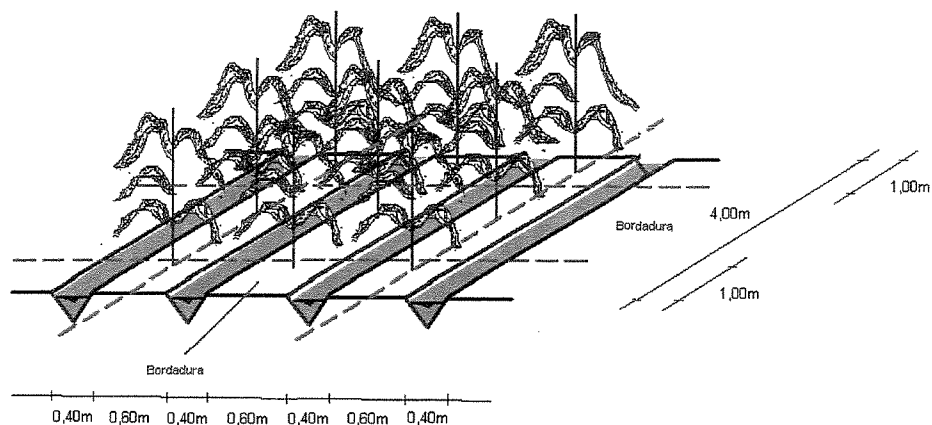


Figura 4.5 – Esquema de uma parcela, com a identificação das linhas de bordadura

Foram aplicadas lâminas hídricas (Hi) diferenciadas de irrigação com efluente anaeróbio, correspondentes às profundidades de irrigação de 20cm, 40cm e 60cm. A profundidade de irrigação corresponde à profundidade do perfil do solo que se deseja irrigar. Tais valores foram escolhidos em função do cultivo, sendo recomendada, para o caso do milho, a profundidade de irrigação de 40cm.



Figura 4.6 – Implantação de uma parcela. Apresenta-se a regularização do sulco para que o mesmo fique com largura de fundo constante.

O conjunto das três profundidades de irrigação (20cm, 40cm e 60cm) constitui um cenário, ou seja, três parcelas com lâminas distintas.

Para avaliar a produtividade agrônômica do “cenário esgoto”, implantou-se um “cenário água” (branco), ou seja, três parcelas com profundidades de irrigação distintas (20cm, 40cm e 60cm), solo enriquecido com nutrientes conforme recomendação de RAIJ et al (1996), e aplicação de água limpa.

O conjunto de um “cenário esgoto” e um “cenário água” compuseram um bloco. A Figura 4.7 e a Figura 4.8 ilustram a conformação de um bloco. Foram implantados três blocos.

Para a aplicação do efluente no “cenário esgoto” e da água no “cenário água”, foi instalado um sistema de distribuição composto de 6 tambores, 3 para cada cenário, com volumes de 60L, 120L e 180L, volumes estes correspondentes aos volumes necessários para irrigar um sulco referente às profundidades de irrigação de 20cm, 40cm e 60cm, respectivamente. A Figura 4.9 apresenta este sistema. O cálculo dos volumes aplicados para cada profundidade de irrigação por sulco será apresentado no item 5.2.2.

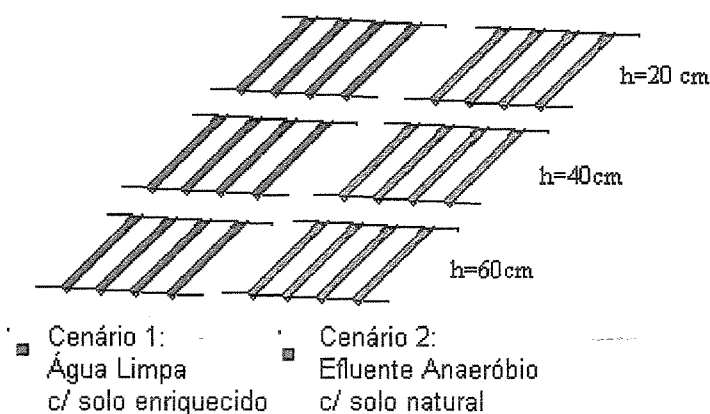


Figura 4.7 – Esquema de um bloco (com dois cenários, com três parcelas em cada cenário e, para cada parcela, uma profundidade de irrigação (h) diferente).



Figura 4.8 – Aspecto de um bloco implantado na área experimental

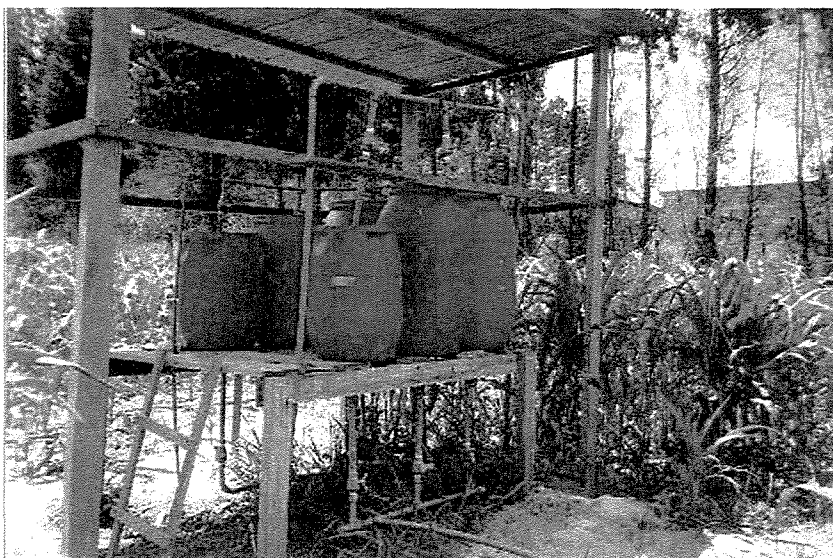


Figura 4.9 – Sistema de distribuição do efluente e da água instalado na área experimental

A distribuição do líquido nos sulcos era realizada através de uma mangueira a qual era colocada no centro do sulco, de modo a obter-se a melhor uniformidade possível nesta operação. Como os sulcos foram implantados em nível, não houve problemas relacionados com a irrigação



privilegiada de uma parte do sulco, como ocorreria com os primeiros metros de um sulco com declive. A Figura 4.10 apresenta a irrigação de um sulco.



Figura 4.10 – Apresentação do sistema de irrigação de um sulco

#### 4.3.4 Plantio

Preparado o solo e implantado o sistema de irrigação, deu-se prosseguimento ao processo de adubação do solo e plantio do milho. A adubação com fertilizante químico só foi realizada no “cenário água”. No “cenário esgoto”, o efluente foi aplicado em solo natural.

O plantio foi feito, na 1ª safra, com a utilização de matraca a cada 20cm, conforme apresentado na Figura 4.11. De modo a uniformizar o emprego de 3 sementes a cada 20cm, foi adotado, na 2ª. e 3ª. safras, o plantio utilizando uma haste para fazer um furo a cada 20cm para três sementes, procedimento apresentado na Figura 4.12. Esta alteração foi feita porque, com o emprego da matraca, caíam muitas ou nenhuma semente em cada orifício aberto no solo, o que é desfavorável para a uniformidade de pés-de-milho na parcela. Apesar de se ter adotado técnica

distinta de plantio, não houve comprometimento significativo nos resultados obtidos nas safras, como poderá ser observado no capítulo 5.

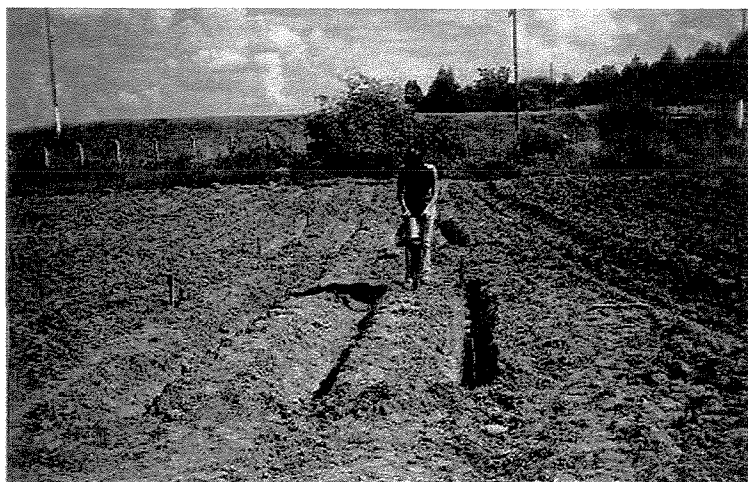


Figura 4.11– Plantio do milho na 1ª safra, realizado com matraca a cada 20cm.



Figura 4.12 – Plantio do milho na 2ª e 3ª safras, realizado com uma haste a cada 20cm e com três sementes por buraco. A cada 20cm há uma marcação na linha.

O cenário correspondente ao plantio irrigado com água sofreu uma adubação química com a taxa de 40g/m linear, tendo como base o ensaio de fertilidade. O cenário irrigado com efluente não foi adubado.

Foi utilizada a variedade AG-405, Agrocere, correspondente a um milho híbrido, de ciclo precoce, tolerante à seca e às principais doenças, tendo como finalidade a produção de grãos e a silagem, podendo ser plantado em todas as épocas (cedo, normal, tarde e safrinha), conforme especificação técnica da empresa produtora das sementes. O emprego dessa variedade foi sugerido pelo engenheiro agrônomo Elder Bolzani, mestrando na FEC/UNICAMP, que já havia empregado tal variedade no tratamento de efluentes e obtido bons resultados.

## **4.4 OPERAÇÃO DO SISTEMA**

### **4.4.1 Controle de Irrigação**

Para o controle da frequência de irrigação, ou manejo da irrigação, foram propostos o método gravimétrico e o método baseado no tanque classe A. O manejo da irrigação baseia-se em um princípio simples: o da máxima produtividade agrícola, com a água necessária para a planta. Para tal, trabalha-se com a umidade do solo entre a capacidade de campo (CC), ou capacidade máxima de retenção de água no solo, acima da qual o líquido lixivia para o lençol, e com a umidade crítica, referente ao potencial matricial crítico da planta, abaixo da qual a planta tem que realizar esforços que comprometem o seu metabolismo.

#### **4.4.1.1. Método Gravimétrico**

O controle da umidade atual (UA) pelo método gravimétrico, método mais adequado para pesquisas e que apresenta resultados reais de campo, apresentado por VIEIRA (1999), baseia-se no ensaio de umidade do solo, no qual calcula-se o peso úmido (PU), coloca-se a amostra em uma estufa a 105°C por aproximadamente 24 horas e, posteriormente, calcula-se o peso seco (PS)

e o peso do recipiente (T). Desta forma, obtém-se a umidade atual pela Equação 4.2. A Equação 4.2 apresenta a fórmula para o cálculo da umidade atual (UA) de uma amostra de solo.

$$UA(\%) = \frac{PU - PS}{PS - T} \times 100 \quad (\text{Equação 4.2})$$

onde:

UA – umidade atual (%)

PU – peso úmido (g)

PS – peso seco (g)

T – peso correspondente à cápsula de alumínio (g)

Quando a UA atinge o valor da UC, irrigam-se os sulcos referentes a esta profundidade de irrigação com a lâmina hídrica correspondente, retornando a umidade do solo à capacidade de campo. Busca-se a realização de dois ensaios por semana, visto que o tempo mínimo entre duas irrigações sucessivas ocorrido na 1ª safra foi de 4 dias. Tal frequência de coletas deve ser mantida principalmente em período de seca.

#### **4.4.1.2 Método do Tanque Classe A – Controle Diário**

O controle da umidade pelo tanque classe A, apresentado por VIEIRA (1999), é um controle diário que tem como base o balanço hídrico de precipitação, evaporação e a quantidade de água demandada pela cultura.

Requer a instalação de um pluviômetro e de um tanque classe A (evaporímetro). O pluviômetro, cedido pelo Laboratório de Hidrologia – FEC / Unicamp, foi implantado nas

instalações da ETE Graminha e foi controlado diariamente pelo operador da estação. O tanque classe A encontra-se instalado no CESET, situado no campus da Unicamp em Limeira, SP, próximo à área, cerca de 10 km, e é controlado diariamente por uma equipe de funcionários da Instituição. Comparando os dados pluviométricos coletados na Área Experimental e os dados coletados no CESET, ao lado do tanque classe A, observa-se uma diferença significativa nos índices pluviométricos somente nos períodos de seca.

O balanço hídrico realizado pelo tanque classe A requer os seguintes dados iniciais: UA, UC, Dg, PM, kc (coeficiente de demanda hídrica da cultura) e kp (coeficiente do tanque). Diariamente devem ser inseridos os dados de evaporação e precipitação. Esse controle pode ser feito por uma série de 15 dias. Em duas situações o controle deve ser interrompido e reiniciado: quando ocorre o transbordo do tanque classe A, pois é perdido o dado de evaporação do dia, e quando muda o estágio do ciclo vegetativo, pois altera o coeficiente de demanda hídrica da cultura (kc).

A planilha aplicada no controle diário (tanque classe A) foi desenvolvida por Luiz Fernando Chang de Oliveira, técnico do COTIL/UNICAMP, e apresenta valores interessantes, como: lâmina necessária para a restituição da CC, umidade armazenada no solo e o déficit hídrico acumulado. Apresenta, também, um gráfico do controle diário no período. Quando a lâmina necessária for igual a  $H_i$ , irriga-se.

No método gravimétrico, irriga-se sempre que UA for igual a UC. Porém, na definição do dia da irrigação, prevalece o método do tanque classe A, caso o mesmo esteja bem ajustado. Para conferir a precisão do resultado obtido por este método, verifica-se a umidade do solo pelo método gravimétrico. Caso não corresponda ao mesmo valor obtido pelo controle diário, altera-se o valor de kc de modo a balizar este método.

#### 4.4.2.Lâmina de aplicação e volume de irrigação

As lâminas de aplicação foram calculadas para as profundidades de irrigação de 20cm, 40cm e 60cm, segundo a Equação 4.3.

$$Hi = \frac{(CC - UC)}{10} \times Dg \times h \quad (\text{Equação 4.3})$$

onde:

Hi – Lâmina hídrica líquida (mm)

CC – Capacidade de campo (%)

UC – Umidade crítica (%)

Dg – densidade global (g/cm<sup>3</sup>)

h – profundidade de irrigação (cm)

Para o cálculo do volume aplicado por sulco para cada profundidade de irrigação, utilizou-se a área de influência de um sulco, ou seja, 4,0 m de comprimento por 1,0 m de largura, como mostra a Figura 4.13. O volume foi calculado segundo a Equação 4.4, com as devidas transformações de unidades

$$V = 1,05 \times Ai \times Hi \quad (\text{Equação 4.4})$$

onde:

V – Volume aplicado por sulco (L)

Ai – Área de influência de um sulco ( m<sup>2</sup>)

Hi – Lâmina hídrica líquida (mm)

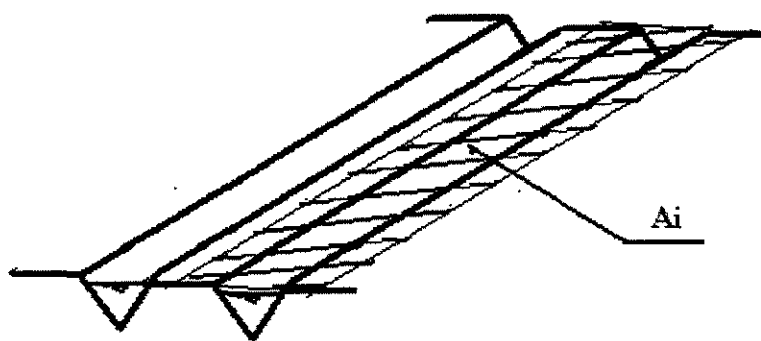


Figura 4.13 – Ilustração da Área de influência (Ai) de um sulco de infiltração na parcela

## 4.5 ANÁLISE SANITÁRIA

### 4.5.1 Qualidade do Efluente Percolado

Para a análise da qualidade do líquido percolado ao longo do perfil do solo, foram analisados os seguintes parâmetros: DBO, pelo método do eletrodo de membrana; DQO, pelo método colorimétrico; fósforo, pelo método ácido ascórbico, e a série de sólidos. Para os nutrientes, foi analisado o nitrito pelo método da sulfanilamida, o nitrato pelo método do ácido fenoldissulfônico, nitrogênio amoniacal pelo método da nesslerização com destilação prévia, e o Nitrogênio Total Kjeldahl pelo método da determinação do nitrogênio na forma de amônia, descritos todos no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, AWWA, 1995.

A obtenção das amostras no perfil do solo foi feita por coletores de drenagem livre desenvolvidos para este trabalho, tomando como base os coletores já desenvolvidos pela equipe de pesquisadores da Faculdade de Engenharia Civil da Unicamp. Os coletores desenvolvidos são a sucção, visto que estão enterrados nas profundidades de 25cm, 50cm, 75cm. Para isso, foram

tomados alguns cuidados como: abaulamento do fundo do coletor; utilização de uma mangueira de pequeno diâmetro, não dobrável, para sucção da amostra, bem como para a entrada de ar.

O coletor de drenagem livre desenvolvido é um recipiente que consta de duas seções de tubo de 150mm, um cap de 150mm, uma grelha de 150mm, duas telas de nylon com malha de 2mm entrecruzadas, uma flange, um bico de mangueira e duas mangueiras de 3/16", montadas conforme apresentado na Figura 4.14. Na seção de tubo superior, apoiada sobre o conjunto grelha-tela, é colocada lã de vidro, seguindo-se uma camada de 2cm de areia, sobre a qual se coloca o solo do local. O conjunto grelha, tela-mosquiteiro e lã de vidro tem como objetivo minimizar a passagem do solo local, evitando uma amostra com alta turbidez. A seção inferior, composta do cap e de uma seção de tubo, é o reservatório da amostra de percolado. O cap deve ser abaulado, conforme sugestão de CARRARO (1995), de modo a garantir que todo o líquido contido pelo coletor seja retirado, para que não haja comprometimento das amostras futuras. Foi adaptada uma entrada de ar de modo a facilitar a sucção de toda a amostra. A Figura 4.15 mostra o coletor de drenagem livre desenvolvido e a Figura 5.16 apresenta as partes do coletor.

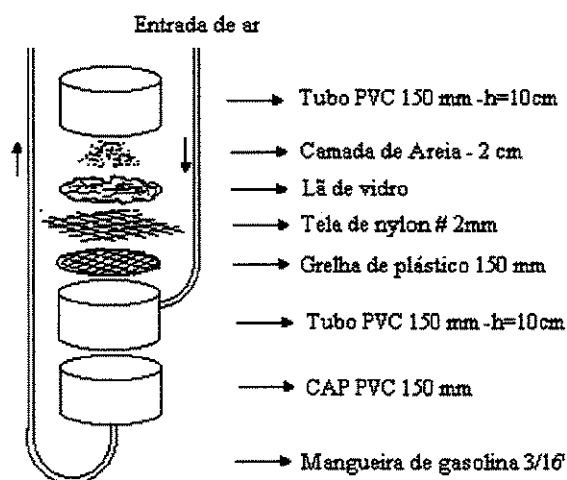


Figura 4.14 – Esquema do coletor de drenagem livre desenvolvido



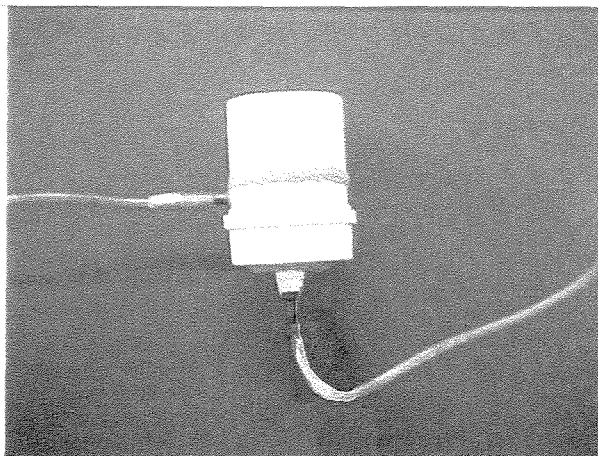


Figura 4.15 – Aspecto externo do coletor de drenagem livre desenvolvido para o projeto



Figura 4.16 – Aspecto interno do coletor de drenagem livre, apresentando seu conjunto

Os coletores de drenagem livre foram instalados na parte central das parcelas, nas profundidades de 25cm, 50cm e 75cm, sendo estas profundidades correspondentes à distância entre a superfície do terreno e a borda superior do coletor. Os coletores implantados são apresentados na Figura 4.17.



Figura 4.17 – Aspecto do posicionamento dos coletores de drenagem livre instalados nas profundidades de 25cm, 50cm e 75cm

Para a sucção do líquido recolhido pelo coletor de drenagem livre foi desenvolvida uma seringa construída com peças de PVC, em cujo bico foi colocado um conector de mangueira. A sucção gerada pela seringa suga o líquido para dentro de um frasco, conforme apresentado pela Figura 4.18. Para cada coleta, é utilizado um frasco devidamente limpo no laboratório, visto a inviabilidade de ser realizada a limpeza do frasco no campo. A Figura 4.19 apresenta a utilização deste dispositivo no campo.

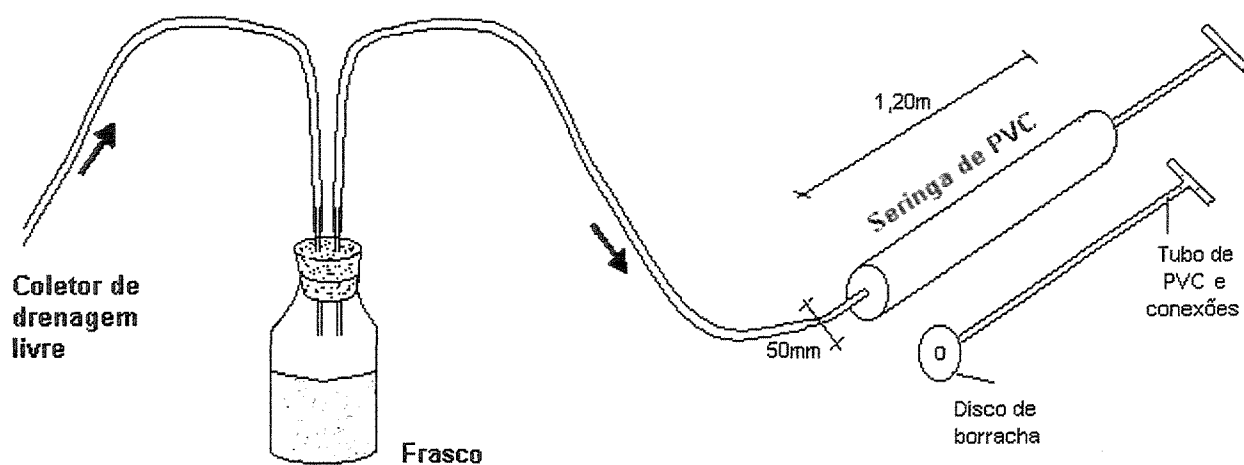


Figura 4.18 – Dispositivo desenvolvido para a extração de amostras do coletor de drenagem livre



Figura 4.19 – Utilização do dispositivo desenvolvido para a extração de amostras no campo

## **4.6 ANÁLISE AGRONÔMICA**

Os aspectos agronômicos resultantes da aplicação do efluente anaeróbio na irrigação foram avaliados pela produtividade da cultura de milho irrigada e pela fertilidade do solo. Foi criado o “cenário água” de modo a ter-se um branco com o qual comparar o desempenho do “cenário esgoto”.

### **4.6.1 Produtividade agrícola**

A análise da produtividade agrícola foi realizada, preliminarmente, através da biomassa obtida para a massa seca de grãos de milho. A partir da 2ª safra, foram introduzidos outros dois

métodos de avaliação da biomassa produzida: o método da biomassa produzida a 13% de umidade e o método da biomassa produzida em 1000 grãos a 13% de umidade.

#### 4.6.1.1 Biomassa dos grãos a 60°C - Massa seca

O método de obtenção da produtividade pela Biomassa dos grãos a 60°C refere-se ao peso de grãos secos por unidade de área, expresso em kg/ha.

Para a obtenção da produtividade agrícola por esse método, são colhidas as espigas da região mais produtiva da parcela, área de 2m x 2m no centro da parcela, colocadas em estufa a 0° C até que a diferença entre duas pesagens sucessivas de uma espiga da parcela seja nula, não havendo mais redução de seu peso. Este processo de secagem dura cerca de 15 dias.

Após a secagem dos grãos, debulham-se as espigas da parcela para pesagem. Dividindo-se o peso obtido pela área de 4 m<sup>2</sup>, obtém-se o resultado da biomassa expresso em kg/m<sup>2</sup>, conforme apresentado pela Equação 4.5. Converte-se esse valor para kg/ha, de modo a obter-se um comparativo com outros experimentos.

Na 2ª safra, observou-se que esta metodologia trazia o inconveniente de a biomassa obtida não poder ser relacionada a uma umidade específica. Porém, esta técnica continuou sendo realizada de modo a manter uma referência das demais safras com a 1ª.

$$Prod = \frac{gs}{A} \quad \text{(Equação 4.5)}$$

Prod – produtividade agrícola (kg/ha)

gs – peso dos grãos de milho secos da parte mais produtiva da parcela

A – área correspondente à parte produtiva da parcela (4m<sup>2</sup>)

#### **4.6.1.2 Biomassa a 13% de umidade**

A metodologia da Biomassa a 13% de umidade é a metodologia da Biomassa para os grãos a 60°C, com a conversão final da biomassa obtida para a umidade de 13%. A produtividade a 13% de umidade é uma referência adotada por vários autores, dentre eles ANJOS e MATTIAZZO (2000).

Para realizar essa conversão, é necessário determinar a umidade das espigas de milho secas a 60°C. Para isso, coletam-se três amostras com cerca de 5g por parcela para a verificação da umidade dos grãos, colocam-se as amostras a 105° C durante 24 horas e estabelece-se a umidade das amostras. Essa metodologia de determinação da umidade é a mesma utilizada para a determinação da umidade do solo apresentada para o Método Gravimétrico, no subitem 4.4.1.1.

Tal metodologia poderia ter sido realizada sem submeter as espigas a 60°C por cerca de 15 dias. Bastava debulhar as espigas colhidas no campo, determinar a umidade dos grãos, pesar os grãos da parcela e converter o peso obtido para a umidade de 13%. Dividindo o resultado por 4m<sup>2</sup> e convertendo para a unidade de kg/ha, obter-se-ia a Biomassa a 13% de umidade.

#### **4.6.1.3 Biomassa de 1000 grãos a 13% de umidade**

Essa metodologia é a mais precisa, pois elimina os riscos de uma parcela ter obtido mais pés produtivos que outra, apesar de suas espigas terem sido menos produtivas. Com essa metodologia é possível obter-se a produtividade da espiga, independente do número de espigas que tenham sido colhidas na parcela.

Os procedimentos adotados para a obtenção da biomassa por essa metodologia são os seguintes: colhem-se as espigas da parte mais produtiva da parcela, área central de 2m x 2m; debulham-se as espigas colhidas; determina-se a umidade dos grãos, conforme indicado no

subitem 4.6.1.2. Separam-se 8 amostras de 100 grãos por parcela. Pesam-se essas amostras e obtém-se um valor médio correspondente a 100 grãos. Multiplica-se este valor por 10, converte-se a umidade dos grãos para 13% e obtém-se a biomassa produzida para 1000 grãos a 13% de umidade, expressa em g/1000 grãos.

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **5.1 LEVANTAMENTO PRELIMINAR E DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA**

Para a caracterização e dimensionamento do sistema de irrigação, foram realizados ensaios físicos e químicos do solo. Entre os ensaios físicos, foram determinados a densidade global, a curva característica do solo, o ensaio de granulometria e o levantamento topográfico.

#### **5.1.1 Densidade Global**

Os valores determinados em laboratório para a densidade global são apresentados na Tabela 5.1. Esses valores foram utilizados no cálculo da lâmina hídrica ( $H_i$ ) aplicada para cada profundidade de irrigação (20cm, 40cm e 60cm).

Tabela 5.1 – Densidade global (Dg) do solo nas profundidades de 0-25, 25-50, 50-75 e 75-100cm

Profundidade	Dg (g/cm <sup>3</sup> )
0-25	1,68
25-50	1,78
50-75	1,68
75-100	1,82

Obs.: (1) As amostras foram coletadas em três pontos representativos do terreno, cada ponto correspondente à futura localização de um bloco.

### 5.1.2 Curva Característica da Água do Solo

Foram levantadas curvas características para as quatro camadas do solo, de 0 a 25cm, de 25 a 50cm, de 50 a 75cm e de 75 a 100cm na área experimental, as quais se encontram nas Figuras A.1 a A.4, no Anexo A. Destas curvas foram retirados os dados de Capacidade de Campo (-0,1 bar), Umidade Crítica (-0,8 bar) e Ponto de Murchamento (-15 bar), apresentados na Tabela 5.2, os quais foram utilizados para o cálculo das lâminas hídricas e para o controle da frequência de irrigação.

Tabela 5.2- Dados de Capacidade de Campo (CC), Umidade Crítica (UC) e Ponto de Murchamento (PM) do solo extraídos das curvas características correspondentes

Profundidade (cm)	CC (%)	UC(%)	PM(%)
0-25	12,7	8,3	4,8
25-50	12,0	8,0	4,7
50-75	12,4	7,7	4,9
75-100	15,3	9,9	6,7

### 5.1.3 Ensaio de Granulometria

O ensaio granulométrico caracterizou o solo como Franco Argilo-Arenoso, solo com boa qualidade para o desempenho da irrigação com efluentes. As curvas granulométricas traçadas encontram-se nas Figuras A.5 a A.8, no Anexo A.



### 5.1.4 Ensaio de Fertilidade

O ensaio de fertilidade do solo natural foi realizado com a coleta de 15 pontos distintos, nas profundidades de 0 a 20 cm e de 20 a 40 cm, formando uma amostra representativa da área experimental, fornecendo os resultados apresentados na Tabela 5.3. Esses resultados serviram de base para o cálculo da quantidade de adubo a ser aplicado no “cenário água”.

Tabela 5.3 – Ensaio de fertilidade para o solo natural

Prof.	pH	M.O.	P resina	K	Ca	Mg	H+	Al	S.B.	CTC	Sat.	Sat.
(cm)	CaCl <sub>2</sub>	(g/dm <sup>3</sup> )	(mg/dm <sup>3</sup> )				Al				bases	Al
							(mmol/ dm <sup>3</sup> )				(V%)	(m%)
0-20	4,3	17	4	1,2	13	7	28	3	21	49	43	12
20-40	4,2	9	3	0,6	8	4	18	4	13	31	41	24

Tabela 5.4 – Cálculo dos parâmetros de projeto do sistema de irrigação para as profundidades de irrigação estabelecidas (20cm, 40cm e 60cm)

Perfil do solo (cm)	h (cm)	CC (%)	UC (%)	PM (%)	Dg (g/cm <sup>3</sup> )	Dr (g/cm <sup>3</sup> )	p (%)	AD (mm)	Hi (mm)
0-20	20	12,7	8,3	4,8	1,68	2,60	35,4	26,5	14,8
0-40	40	12,2	8,0	4,8	1,72	2,63	34,6	51,1	28,8
0-60	60	12,2	7,8	4,8	1,72	2,62	34,4	76,3	45,4

### Volume Aplicado

O volume aplicado em cada sulco, em função das dimensões do sulco e da lâmina hídrica calculada (Hi) para cada profundidade de irrigação, é apresentado na Tabela 5.5. O cálculo deste volume segue a Equação 4.3.

Tabela 5.5 – Volume aplicado por sulco para as três profundidades de irrigação

h (cm)	Hi (mm)	V (L)
20	14,8	60
40	28,8	120
60	45,4	180

## 5.2 OPERAÇÃO DO SISTEMA

### 5.2.1 Desenvolvimento da 1ª safra

A 1ª safra, iniciada em 21/03/2001, foi uma safra de seca, com um ciclo vegetativo de 115 dias.

Conforme opinião de agrônomos, consultados na FEAGRI/UNICAMP e na ESALQ/USP, esta foi uma safra bem regular, ótima para o desenvolvimento experimental por não ter ocorrido grandes eventos climáticos.

No estágio inicial (de semeadura e de germinação), todas as parcelas (20cm, 40cm e 60cm) receberam a lâmina hídrica referente a 20cm, com intuito de estimular o seu desenvolvimento, conforme recomendado por BULL et al (1993). No estágio de desenvolvimento, passou-se a aplicar as lâminas diferenciadas e correspondentes às profundidades de irrigação de 20cm, 40cm e 60cm. No estágio de maturação, quando a planta pára de absorver líquido, cessou-se a irrigação. A Tabela 5.6 apresenta os dias em que ocorreram as mudanças de cada estágio do ciclo vegetativo, e a Tabela 5.7 apresenta os dias em que foram irrigadas as parcelas correspondentes às profundidades de irrigação de 20cm, 40cm e 60cm, com as devidas intensidades pluviométricas diárias.

Nesta safra, a irrigação foi controlada pelo método gravimétrico, ou seja, com o controle da umidade real do solo duas vezes por semana. O controle diário da irrigação pelo método do tanque classe A só foi implantado na 2ª safra.

Tabela 5.6 – Apresentação dos dias de mudança de estágio do ciclo vegetativo do milho na 1ª safra

Dia	Data	Estágio do Ciclo Vegetativo
1	21/03/2001	Inicial
28	17/04/2001	Desenvolvimento
72	31/05/2001	Intermediário
102	30/06/2001	Maturação
115	12/07/2001	Colheita

Tabela 5.7 – Apresentação dos dias de irrigação, de precipitação, das lâminas hídricas aplicadas e do volume aplicado na 1ª safra

	Ciclo	Dia	Data	Precipitação (mm)	Lâminas aplicadas					
					20cm		40cm		60cm	
					Hi (mm)	V (L)	Hi (mm)	V (L)	Hi (mm)	V (L)
Estágio Inicial	1	Seg	21/03/2001							
	2	Ter	22/03/2001							
	3	Qua	23/03/2001		14,8	60	14,8	60	14,8	60
	5	Sex	25/03/2001							
	6	Sab	26/03/2001	52,3						
	7	Dom	27/03/2001	3,1						
	8	Seg	28/03/2001	4,2						
	9	Ter	29/03/2001	16,7						
	10	Qua	30/03/2001							
	12	Sex	01/04/2001							
	13	Sab	02/04/2001	48,9						
	14	Dom	03/04/2001							
	20	Sab	09/04/2001		14,8	60	14,8	60	14,8	60
	21	Dom	10/04/2001							
Estágio de Desenvolvimento	22	Seg	11/04/2001		14,8	60	14,8	60	14,8	60
	23	Ter	12/04/2001	6,2						
	27	Sab	16/04/2001							
	28	Dom	17/04/2001							
	33	Sex	22/04/2001							
	34	Sab	23/04/2001	2,5						
	35	Dom	24/04/2001							
	37	Ter	26/04/2001							
	38	Qua	27/04/2001		14,8	60	28,8	120	45,4	180
	39	Qui	28/04/2001							
	46	Qui	05/05/2001							
	47	Sex	06/05/2001							
	48	Sab	07/05/2001		14,8	60				
	49	Dom	08/05/2001							
	50	Seg	09/05/2001							
	51	Ter	10/05/2001				28,8	120		
	52	Qua	11/05/2001		14,8	60				
	53	Qui	12/05/2001							
	54	Sex	13/05/2001							
	55	Sab	14/05/2001						45,4	180
	56	Dom	15/05/2001	39,5						
	57	Seg	16/05/2001							
	58	Ter	17/05/2001	2,3						
	59	Qua	18/05/2001	11,9						
	60	Qui	19/05/2001							
	68	Sex	27/05/2001							
	69	Sab	28/05/2001	7,9						
	70	Dom	29/05/2001							
	71	Seg	30/05/2001	2,2						
Estágio Intermediário	72	Ter	31/05/2001							
	80	Qua	08/06/2001							
	81	Qui	09/06/2001							
	82	Sex	10/06/2001							
	83	Sab	11/06/2001							
	84	Dom	12/06/2001							
	85	Seg	13/06/2001				28,8	120		
	86	Ter	14/06/2001						45,4	180
	87	Qua	15/06/2001							
	88	Qui	16/06/2001							
	89	Sex	17/06/2001							
	90	Sab	18/06/2001							
Estágio de Maturação	91	Dom	19/06/2001							
	101	Qua	29/06/2001							
	102	Qui	30/06/2001							
	108	Qua	06/07/2001							
	109	Qui	07/07/2001							
	110	Sex	08/07/2001							
Colheita	111	Sab	09/07/2001							
	112	Dom	10/07/2001							
	113	Seg	11/07/2001							
	114	Ter	12/07/2001							
	115	Qua	13/07/2001							
Acumulado				197,7	88,8	360	130,8	540	180,6	720

### 5.2.2 Desenvolvimento da 2ª safra

A 2ª safra, iniciada em 10/10/2001, foi uma safra de chuva com ciclo vegetativo de 107 dias.

A frequência de chuva ocorrida nesta safra não possibilitou que houvesse mais do que duas irrigações no período, todas as duas aplicadas no estágio inicial, o de semeadura, quando foi fornecida uma lâmina correspondente à profundidade de irrigação de 20cm, com intuito de estimular a germinação da semente, conforme pode ser visto na Tabela 5.9.

A irrigação foi controlada através do método do tanque classe A, método de controle diário, baseado no balanço hídrico entre a necessidade hídrica da planta, a evaporação e a precipitação. A Tabela 5.8 apresenta os dias de mudança de estágio do ciclo vegetativo da planta, período em que as necessidades metabólicas da planta sofrem alteração. A Tabela 5.9 apresenta os dias em que ocorreram as irrigações e as precipitações na 2ª safra.

Tabela 5.8 – Apresentação dos dias de mudança de estágio do ciclo vegetativo do milho na 2ª safra

Dia	Data	Estágio do Ciclo Vegetativo
1	10/10/2001	Inicial
34	13/11/2001	Desenvolvimento
56	05/12/2001	Intermediário
85	03/01/2002	Maturação
107	25/01/2002	Colheita

Tabela 5.9 – Apresentação dos dias de irrigação, de precipitação, das lâminas hídricas aplicadas e do volume aplicado na 2ª safra

	Ciclo	Dia	Data	Precipitação (mm)	Lâminas de aplicação					
					20cm		40cm		60cm	
					Hi (mm)	V (L)	Hi (mm)	V (L)	Hi (mm)	V (L)
Estágio Inicial	1	Qua	10/10/2001							
	2	Qui	11/10/2001							
	9	Qui	18/10/2001							
	10	Sex	19/10/2001							
	11	Sab	20/10/2001		14,8	60	14,8	60	14,8	60
	25	Sab	03/11/2001							
	26	Dom	04/11/2001	2,0						
	27	Seg	05/11/2001	0,8						
	28	Ter	06/11/2001							
	29	Qua	07/11/2001							
Estágio de Desenvolvimento	30	Qui	08/11/2001		14,8	60	28,8	120	45,4	180
	31	Sex	09/11/2001							
	32	Sab	10/11/2001							
	33	Dom	11/11/2001	5,1						
	34	Seg	12/11/2001	25,4						
	35	Ter	13/11/2001							
	36	Qua	14/11/2001	5,6						
	37	Qui	15/11/2001							
	38	Sex	16/11/2001							
	44	Qui	22/11/2001							
Estágio Intermediário	45	Sex	23/11/2001	59,3						
	46	Sab	24/11/2001							
	49	Ter	27/11/2001							
	50	Qua	28/11/2001	36,7						
	51	Qui	29/11/2001	27,7						
	52	Sex	30/11/2001	4,5						
	53	Sab	01/12/2001	1,7						
	56	Ter	04/12/2001							
	57	Qua	05/12/2001							
	58	Qui	06/12/2001	2,4						
Estágio de Maturação	59	Sex	07/12/2001	5,1						
	60	Sab	08/12/2001	15,5						
	61	Dom	09/12/2001	0,6						
	62	Seg	10/12/2001	14,1						
	63	Ter	11/12/2001							
	64	Qua	12/12/2001	1,2						
	65	Qui	13/12/2001							
	66	Sex	14/12/2001	9,9						
	67	Sab	15/12/2001							
	68	Dom	16/12/2001							
Colheita	69	Seg	17/12/2001	42,4						
	70	Ter	18/12/2001							
	71	Qua	19/12/2001							
	72	Qui	20/12/2001	3,4						
	83	Seg	31/12/2001							
	84	Ter	01/01/2002	36,7						
	85	Qua	02/01/2002	20,3						
	86	Qui	03/01/2002							
	90	Seg	07/01/2002	2,5						
	91	Ter	08/01/2002	20,6						
Acumulado	92	Qua	09/01/2002	3,4						
	93	Qui	10/01/2002	45,2						
	94	Sex	11/01/2002	11,3						
	95	Sab	12/01/2002							
	96	Dom	13/01/2002	19,2						
	97	Seg	14/01/2002	26,6						
	98	Ter	15/01/2002	16,9						
	107	Qui	24/01/2002							
	108	Sex	25/01/2002							
Acumulado				466,1	29,6	120	43,6	180	60,2	240

### 5.2.3 Desenvolvimento da 3ª safra

A 3ª safra, iniciada em 22/03/2002, foi uma safra de seca com ciclo vegetativo de 134 dias. Iniciou-se no mesmo período que o da 1ª safra.

A safra foi marcada por duas frentes frias o que veio a atrasar o seu ciclo vegetativo da mesma. Tais eventos ocorreram no 43º e 59º dia do ciclo vegetativo, conforme pode ser observado na Tabela 5.11.

A irrigação foi controlada através do método do tanque classe A, método de controle diário, baseado no balanço hídrico entre a necessidade hídrica da planta, a evaporação e a precipitação.

A Tabela 5.10 apresenta os dias de mudança de estágio do ciclo vegetativo da planta, período em que as necessidades metabólicas da planta sofrem alteração. A Tabela 5.11 apresenta os dias em que ocorreram as irrigações e as precipitações na 3ª safra.

Tabela 5.10 – Apresentação dos dias de mudança de estágio do ciclo vegetativo do milho na 3ª safra

Dia	Data	Estágio do Ciclo Vegetativo
1	22/03/2002	Inicial
33	23/04/2002	Desenvolvimento
72	01/06/2002	Intermediário
84	13/06/2002	Maturação
134	02/08/2002	Colheita

Tabela 5.11 – Apresentação dos dias de irrigação, das precipitações, das lâminas aplicadas e do volume aplicado na 3ª safra

	Ciclo	Dia	Data	Precipitação (mm)	Lâminas de irrigação (mm)					
					20cm		40cm		60cm	
					Hi (mm)	V (L)	Hi (mm)	V (L)	Hi (mm)	V (L)
Estágio Inicial	1	Sex	22/03/2002							
	2	Sab	23/03/2002							
	3	Dom	24/03/2002	18,4						
	4	Seg	25/03/2002	108,4						
	5	Ter	26/03/2002							
	13	Qua	03/04/2002							
	14	Qui	04/04/2002	90,4						
	15	Sex	05/04/2002							
	21	Qui	11/04/2002							
	22	Sex	12/04/2002		14,8	60	14,8	60	14,8	60
Estágio de Desenvolvimento	23	Sab	13/04/2002							
	27	Qua	17/04/2002							
	28	Qui	18/04/2002		14,8	60	14,8	60	14,8	60
	29	Sex	19/04/2002							
	31	Dom	21/04/2002							
	32	Seg	22/04/2002		14,8	60	14,8	60	14,8	60
	33	Ter	23/04/2002							
	35	Qui	25/04/2002							
	36	Sex	26/04/2002		14,8	60	14,8	60	14,8	60
	37	Sab	27/04/2002							
Estágio Intermediário	40	Ter	30/04/2002							
	41	Qua	01/05/2002	2,8						
	42	Qui	02/05/2002							
	43	Sex	03/05/2002	8,5						
	44	Sab	04/05/2002	8,1						
	45	Dom	05/05/2002							
	46	Seg	06/05/2002	9,9						
	47	Ter	07/05/2002							
	53	Seg	13/05/2002							
	54	Ter	14/05/2002							
Estágio de Maturação	55	Qua	15/05/2002		14,8	60	28,8	120	45,4	180
	56	Qui	16/05/2002							
	57	Sex	17/05/2002	1						
	58	Sab	18/05/2002							
	59	Dom	19/05/2002	19,4						
	60	Seg	20/05/2002	3,5						
	61	Ter	21/05/2002	22,2						
	62	Qua	22/05/2002	9,9						
	63	Qui	23/05/2002							
	69	Qua	29/05/2002							
Estágio de Maturação	70	Qui	30/05/2002							
	71	Sex	31/05/2002		14,8	60				
	72	Sab	01/06/2002							
	73	Dom	02/06/2002							
	78	Sex	07/06/2002							
	79	Sab	08/06/2002							
	80	Dom	09/06/2002							
	81	Seg	10/06/2002		14,8	60	28,8	120	45,4	180
	82	Ter	11/06/2002							
	83	Qua	12/06/2002							
Estágio de Maturação	84	Qui	13/06/2002							
	88	Seg	17/06/2002		14,8	60				
	89	Ter	18/06/2002							
	96	Ter	25/06/2002							
	97	Qua	26/06/2002							
	98	Qui	27/06/2002		14,8	60	28,8	120		
	99	Sex	28/06/2002							
	105	Qui	04/07/2002							
	108	Dom	07/07/2002							
	113	Sex	12/07/2002	2,8						
Estágio de Maturação	114	Sab	13/07/2002							
	127	Sex	26/07/2002							
	128	Sab	27/07/2002	5,4						
	129	Dom	28/07/2002							
	130	Seg	29/07/2002							
	131	Ter	30/07/2002	12,3						
	132	Qua	31/07/2002							
	133	Qui	01/08/2002							
	134	Sex	02/08/2002							
Colheita										
Acumulado				323	133,2	540	145,6	600	150	600



### 5.3 ANÁLISE SANITÁRIA

A análise do desempenho sanitário do sistema solo-planta foi realizada pelo levantamento da qualidade sanitária de amostras coletadas nos coletores de drenagem livre. Essas amostras são provenientes do líquido percolado após a aplicação do efluente anaeróbio ou após um período chuvoso.

Os coletores foram instalados no centro das parcelas do “cenário esgoto”, para as lâminas correspondentes às profundidades de irrigação de 20cm, 40cm e 60cm. Foram implantadas 3 repetições deste conjunto (três blocos), totalizando, desta forma, a instalação de 27 coletores de drenagem livre na área experimental.

Conforme pode ser visto nas Tabelas B.1 a B.10, no Anexo B, referentes aos resultados sanitários obtidos para os coletores de drenagem livre, não foram obtidas amostras para todos os coletores, o que indica que, quando a irrigação ocorre de modo a oferecer à planta a água necessária, sem excesso, ocorre um mínimo de percolação no solo, o que diminui o provável risco de contaminação do lençol.

A Tabela 5.12 apresenta a média dos valores sanitários do efluente anaeróbio ocorridos nos dias de irrigação para cada safra, e a Tabela 5.13, a quantidade total de efluente aplicado até a respectiva coleta de amostra nos coletores de drenagem livre. A apresentação da média da safra se deve ao fato de que, muitas vezes, ocorreram três irrigações em dias distintos da semana, o que tornaria inviáveis três análises na semana.

Tabela 5.12 - Caracterização do Efluente Anaeróbio gerado na ETE Piloto, instalada na ETE Graminha, Limeira, SP

Parâmetros	1ª Safra	2ª Safra	3ª Safra
Potencial Hidrogeniônico	7,02 - 7,24	7,1 - 7,52	7,11 - 7,47
Alcalinidade Total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	223,24	230,56	227,13
DQO (mgO <sub>2</sub> /L)	395,11	445,35	315,69
DBO (mgO <sub>2</sub> /L)	129,37	70,56	117,38
SST (mg/L)	164,45	137,42	69,00
SSF (mg/L)	46,80	18,87	14,33
SSV (mg/L)	125,75	118,54	54,67
N-NH <sub>3</sub> (mg/L)	20,54	12,55	24,88
N-NO <sub>2</sub> (mg/L)	0,027	0,015	0,133
N-NO <sub>3</sub> (mg/L)	1,06	0,40	0,21
NTK (mg/L)	51,36	57,65	41,75
Fósforo (mg/L)	5,48	11,69	5,51
Coli Totais(NMP/100mL)	1,65E+08	6,97E+08	2,43E+08
Coli Fecais (NMP/100mL)	1,07E+07	3,79E+07	7,85E+06

Obs.: -Valores correspondentes à média dos valores dos parâmetros sanitários do efluente anaeróbio.

-Os valores de potássio (K) no efluente anaeróbio variaram de 10 a 22 mg/L.

Tabela 5.13 – Total acumulado das lâminas e dos volumes até o dia da extração de amostras nos coletores de drenagem livre

	Dia	Preci- pitação mm	Lâminas hídricas					
			20 cm		40 cm		60 cm	
			mm	L	mm	L	mm	L
Final 1ª Safra	15/06/2001	197,65	88,80	360	130,80	540	180,60	720
Final 2ª Safra	19/01/2002	466,10	29,60	120	43,60	180	60,20	240
Início 3ª Safra	20/03/2002	370,40	-	-	-	-	-	-
Meio 3ª Safra	14/06/2002	305,50	103,60	420	130,80	540	180,60	720
Final 3ª Safra	02/07/2002	20,50	29,60	120	28,80	120	45,40	180

Obs.: (-) Não houve aplicação de efluente anaeróbio entre as coletas do final da 2ª e início da 3ª safra.

### 5.3.1 Análise da Qualidade do Efluente Percolado

De uma maneira geral, foi complexa a análise dos resultados obtidos nos coletores de drenagem livre, pois, conforme poderá ser claramente observado nas Tabelas 5.14 a 5.27, nas Tabelas B.1 a B.12 e nas Figuras B.1 a B.12, no anexo B, em relação a alguns parâmetros, os resultados não se referem somente ao efluente aplicado, mas também à lixiviação do que já se encontrava no solo antes do início deste projeto.

As Tabelas 5.14 e 5.15 apresentam, respectivamente, a faixa de valores do potencial hidrogeniônico nos coletores de drenagem livre e os valores médios da alcalinidade para as profundidades de irrigação de 20cm, 40cm e 60cm, nas profundidades de 25cm, 50cm e 75cm. As Tabela B.8 a B.10 e as Figuras B.1 e B.2, no Anexo B, apresentam os valores do pH e alcalinidade em cada coletor, fornecendo as condições das amostras dos coletores no dia da coleta.

Tabela 5.14 – Valores do Potencial Hidrogeniônico das amostras extraídas dos coletores de drenagem nas três safras por profundidade do solo e lâminas hídricas

Prof.de Irrigação	Perfil do solo(cm)	pH				
		1a. Safra fim	2a. Safra fim	início	3a. Safra meio	fim
20cm	0-25	5,7-6,7	6,8	6,9	6,2	6,6
	25-50	2,8	-	-	-	-
	50-75	5,9	7,9	-	-	-
40cm	0-25	6,2	6,2-6,5	6,3	8,0	-
	25-50	-	6,7-7,1	6,4	3,7-6,3	-
	50-75	5,4-6,0	6,4	5,9	5,1	-
60cm	0-25	5,7-5,9	6,5-6,9	5,2-5,7	7,8	4,5-7,4
	25-50	-	6,9-7,1	5,8	-	-
	50-75	-	6,3-7,1	4,2-6,1	6,6	-

Obs.: (-) Não houve amostra suficiente para a análise deste parâmetro.

-Onde não existe intervalo de valores de pH é porque só foi possível coletar uma amostra nas três repetições

Tabela 5.15 – Concentração média da Alcalinidade Total das amostras extraídas dos coletores de drenagem nas três safras

Prof.de Irrigação	Perfil do solo(cm)	Alcalinidade Total (mg CaCO <sub>3</sub> /L)				
		1a. Safra fim	2a. Safra fim	início	3a. Safra meio	fim
20cm	0-25	78,7	15,2	27,1	6,5	13,0
	25-50	0,0	-	-	-	-
	50-75	25,0	78,1	-	-	-
40cm	0-25	64,6	6,5	11,9	106,3	-
	25-50	-	27,5	51,0	7,1	-
	50-75	34,2	6,5	8,7	1,1	-
60cm	0-25	68,9	9,8	10,3	78,1	58,6
	25-50	-	14,1	15,2	-	-
	50-75	-	21,0	17,4	10,9	-

Obs.: (-) Não houve amostra suficiente para a análise deste parâmetro

-Onde não existe intervalo de valores de alcalinidade é porque só foi possível coletar uma amostra nas três repetições

Para os valores médios da Demanda Química de Oxigênio, apresentada na Tabela 5.16, observa-se uma redução de cerca de 95% na concentração das amostras dos coletores de drenagem em relação ao efluente anaeróbio. Analisando os valores apresentados para cada coletor de drenagem livre, nas Tabelas B.1 a B.4 e Figuras B.3 e B.4, no Anexo B, observa-se uma tendência de queda da DQO para os coletores mais profundos. Não foi identificada nenhuma distinção nos resultados apresentados pelas três profundidades de irrigação para este parâmetro.

As análises para a Demanda Bioquímica de Oxigênio dos coletores de drenagem livre ocorreram a partir da 3ª. safra. Os valores médios obtidos para os coletores de drenagem livre são apresentados na Tabela 5.17 e indicam uma redução de cerca de 95% de DBO em relação ao efluente anaeróbio aplicado na irrigação com valores que variam de 2 a 20 mg/L, conforme pode

ser observado nas Tabelas B.1 a B.4 e Figura B.4, no Anexo B. Observa-se que há uma tendência de queda da DBO ao longo do perfil do solo. Para resultados mais conclusivos, seria necessária a realização de mais amostragens. Não foi identificada nenhuma distinção considerável para as três profundidades de irrigação para concentrações de DBO.

Estabelecendo uma comparação com os dados da Tabela 3.4, que se refere à qualidade esperada do efluente tratado pelo método da irrigação, segundo USEPA (1981), 75% dos resultados de DBO dos coletores encontram-se na faixa esperada, entre 2 e 5 mgO<sub>2</sub>/L.

Tabela 5.16 – Concentração média da Demanda Química de Oxigênio das amostras extraídas dos coletores de drenagem nas três safras

Prof.de Irrigação	Perfil do solo(cm)	DQO (mgO <sub>2</sub> /L)				
		1a. Safra fim	2a. Safra fim	início	3a. Safra meio	fim
20cm	0-25	*	36,7	54,3	6,7	2,8
	25-50	44,3	-	-	-	-
	50-75	*	24,3	-	-	-
40cm	0-25	*	40,7	44,9	76,4	-
	25-50	-	39,0	31,5	45,9	-
	50-75	*	48,0	53,9	16,4	-
60cm	0-25	*	87,2	36,9	22,5	19,0
	25-50	-	34,5	37,7	-	-
	50-75	-	21,7	17,5	15,6	-

Obs.: (-) Não houve amostra suficiente para a análise deste parâmetro.

(\*) Abaixo do limite de detecção do aparelho

Quanto aos sólidos em suspensão, a Tabela 5.18 apresenta as concentrações médias de sólidos suspensos totais; a Tabela 5.19, de sólidos suspensos fixos, e a Tabela 5.20, de sólidos suspensos voláteis obtidos nos coletores de drenagem livre. Observa-se uma redução da ordem de 90% para os sólidos suspensos totais e para os voláteis em todos os coletores em relação ao

efluente anaeróbio, cujas concentrações são apresentadas na Tabela 5.12. Constata-se que, nos valores apresentados nas Tabelas B.1 a B.4 e nas Figuras B.5 e B.6, no Anexo B, para cada coletor de drenagem livre, à medida que se aumenta a profundidade, não há uma tendência de alteração das concentrações para as diferentes lâminas. É conveniente ressaltar que, no solo natural, encontram-se sólidos suspensos, o que mascara os resultados obtidos. Apesar disso, obteve-se uma redução de cerca de 90% para os sólidos suspensos.

Tabela 5.17 – Concentração média da Demanda Bioquímica de Oxigênio das amostras extraídas dos coletores de drenagem nas três safras

Prof.de Irrigação	Perfil do solo(cm)	DBO (mgO <sub>2</sub> /L)				
		1a. Safra fim	2a. Safra fim	início	3a. Safra meio	fim
20cm	0-25			4,9	3,1	1,8
	25-50			-	-	-
	50-75			-	-	-
40cm	0-25			4,1	20,1	-
	25-50			2,8	11,8	-
	50-75			1,6	4,1	-
60cm	0-25			4,2	6,2	6,2
	25-50			2,4	-	-
	50-75			2,0	2,6	-

Obs.: (-) Não houve amostra suficiente para a análise deste parâmetro.

- Não foram realizadas as análises de DBO para a 1ª e 2ª safras.

Os resultados obtidos para os sólidos suspensos, apresentados nas Tabelas B.1 a B.4 e nas Figuras B.5 e B.6, no Anexo B, indicam um aumento considerável de sólidos após os períodos de chuva referentes à coleta da 2ª safra e à coleta no início da 3ª safra, sendo que o total de precipitação que contribuiu para cada coleta foi de 466,1 mm e 370,4 mm, respectivamente, conforme apresentado na Tabela 5.13. Observa-se, no entanto, que, no período referente ao meio da 3ª safra, quando o total de líquido aplicado, esgoto e chuva, foi próximo aos dos períodos em que só ocorreu chuva, houve concentrações mais baixas de SSF, mas não tão baixas quanto às

dos períodos com chuva mais reduzida, o que indica que, aplicando volumes próximos somente com água e com água e esgoto, obtêm-se concentrações mais elevadas de sólidos suspensos na situação em que só se aplica água, o que sugere que os sólidos aplicados pelo efluente anaeróbio ficam, preliminarmente, retidos no solo. Para os sólidos voláteis, observa-se um comportamento similar ao dos sólidos fixos.

Tais resultados sugerem que as concentrações de sólidos suspensos obtidas estão relacionadas principalmente ao que é lixiviado pela chuva, havendo pouca contribuição do efluente anaeróbio aplicado na irrigação.

Tabela 5.18 – Concentração média de Sólidos Suspensos Totais das amostras extraídas dos coletores de drenagem nas três safras

Prof.de Irrigação	Perfil do solo(cm)	SST (mg/L)				
		1a. Safra fim	2a. Safra fim	início	3a. Safra meio	fim
20cm	0-25	8,0	54,5	10,0	6,0	12,0
	25-50	-	-	-	-	-
	50-75	2,0	77,4	-	-	-
40cm	0-25	20,0	180,4	3,3	8,0	-
	25-50	-	57,5	70,0	17,0	-
	50-75	17,0	154,0	21,3	46,0	-
60cm	0-25	6,0	60,5	21,7	10,0	31,0
	25-50	-	63,2	8,0	-	-
	50-75	-	37,8	48,7	-	-

Obs.: (-) Não houve amostra suficiente para a análise deste parâmetro.

Tabela 5.19 – Concentração média de Sólidos Suspensos Fixos das amostras extraídas dos coletores de drenagem nas três safras

Prof.de Irrigação	Perfil do solo(cm)	SSF (mg/L)				
		1a. Safra fim	2a. Safra fim	início	3a. Safra meio	fim
20cm	0-25	0,3	44,0	3,0	2,0	10,0
	25-50	-	-	-	-	-
	50-75	0,4	62,4	-	-	-
40cm	0-25	13,0	86,4	0,3	0,5	-
	25-50	-	46,9	66,0	4,3	-
	50-75	10,0	126,5	12,6	42,0	-
60cm	0-25	0,7	48,0	13,0	8,0	7,0
	25-50	-	56,9	4,0	-	-
	50-75	-	29,7	41,7	-	-

Obs.: (-) Não houve amostra suficiente para a análise deste parâmetro

Tabela 5.20 – Concentração média de Sólidos Suspensos Voláteis das amostras extraídas dos coletores de drenagem nas três safras

Prof.de Irrigação	Perfil do solo(cm)	SSV (mg/L)				
		1a. Safra fim	2a. Safra fim	início	3a. Safra meio	fim
20cm	0-25	7,7	10,5	7,0	4,0	2,0
	25-50	-	-	-	-	-
	50-75	1,6	15,0	-	-	-
40cm	0-25	7,0	94,0	3,0	7,5	-
	25-50	-	10,6	4,0	12,7	-
	50-75	7,0	27,5	8,7	4,0	-
60cm	0-25	5,3	12,5	8,7	2,0	24,0
	25-50	-	6,3	4,0	-	-
	50-75	-	8,1	7,0	-	-

Obs.: (-) Não houve amostra suficiente para a análise deste parâmetro



Em relação às concentrações de nitrogênio amoniacal, apresentadas na Tabela 5.21, verifica-se uma redução da ordem de 99% em relação às concentrações de  $\text{N-NH}_3$  encontradas nos efluentes anaeróbios. Analisando os resultados apresentados nas Tabelas B.5 a B.7 e Figuras B.7 e B.8, no Anexo B, para as concentrações em cada coletor, observa-se que os resultados mais elevados ocorreram, de um modo geral, nos coletores de 25cm de profundidade, ocorrendo valores mínimos nas profundidades de 50cm e 75cm. Constata-se, também, que os picos nas concentrações de nitrato ocorreram no meio e no fim das safras, nunca no início.

Analisando os resultados médios de nitritos e nitratos apresentados nas Tabelas 5.22 e 5.23, respectivamente, e os resultados do efluente anaeróbio da Tabela 5.12, pode-se observar que somente 4% da redução do nitrogênio amoniacal foram convertidos em nitrito e nitrato. Isso poderia indicar que 95% do nitrogênio amoniacal foram absorvidos pela planta. Porém, conforme pode ser observado na Tabela 5.23, na safra de chuva (2ª safra), em que houve uma aplicação mínima de esgoto, ocorreu um acréscimo substancial na concentração de nitrato nos coletores, o que indica que o nitrato ficou contido no solo, sofrendo lixiviação quando houve excesso de água no solo.

Esse aumento na concentração do nitrato nos coletores de drenagem livre aparece também na coleta ocorrida no meio da 3ª safra, no 85º dia do ciclo vegetativo da planta. Nesse período, como pode ser observado na Tabela 5.10, a planta estava entrando no estágio de maturação, quando a mesma pára de absorver líquido. Isso indica que, na ausência da atividade de absorção pela planta, o nitrato tende a se lixiviar pelo solo. Estudos desenvolvidos por VASQUEZ-MONTIEL (1996), comprovam que esta lixiviação do nitrato ocorre quando a planta se encontra no final do estágio de desenvolvimento, período em que a necessidade hídrica da planta começa a cair, como pode ser verificado na Figura 3.11. Pode-se observar que os picos nas concentrações de nitrato ocorreram sempre após o meio da safra, nunca no início.

Os valores obtidos para nitrito, em todos os coletores de drenagem livre, atendem ao padrão de potabilidade da água de 1mg/L, estabelecida para este parâmetro pela Resolução 1469/2000, emitida pelo Ministério da Saúde.

Tabela 5.21 – Concentração média de Nitrogênio Amoniacal das amostras extraídas dos coletores de drenagem nas três safras

Prof.de Irrigação	Perfil do solo(cm)	N-NH <sub>3</sub> (mg/L)				
		1a. Safra fim	2a. Safra fim	início (mg/L)	3a. Safra meio	fim
20cm	0-25	*	*	0,030	0,090	*
	25-50	0,360	-	-	-	-
	50-75	*	*	-	-	-
40cm	0-25	*	0,260	0,032	-	-
	25-50	-	0,007	0,050	*	-
	50-75	*	*	*	*	-
60cm	0-25	0,020	*	0,005	*	2,150
	25-50	-	*	*	-	-
	50-75	-	*	*	*	-

Obs.: (-) Não houve amostra suficiente para a análise deste parâmetro

(\*) Abaixo do limite de detecção do aparelho

Tabela 5.22 – Concentração média de Nitrito das amostras extraídas dos coletores de drenagem nas três safras

Prof.de Irrigação	Perfil do solo(cm)	N-NO <sub>2</sub> (mg/L)				
		1a. Safra fim	2a. Safra fim	início	3a. Safra meio	fim
20cm	0-25	0,006	0,098	0,023	0,007	0,030
	25-50	0,858	-	-	-	-
	50-75	0,004	0,014	-	-	-
40cm	0-25	0,006	0,065	0,008	-	-
	25-50	-	0,080	0,017	0,008	-
	50-75	0,010	0,013	0,033	0,010	-
60cm	0-25	0,011	0,102	0,027	0,008	0,020
	25-50	-	0,096	0,034	-	-
	50-75	-	0,030	0,018	0,013	-

Obs.: (-) Não houve amostra suficiente para a análise deste parâmetro.

Os valores obtidos para nitrato ultrapassaram o limite de 10 mg/L em um coletor na 2ª safra e em 50% das amostras coletadas no meio da 3ª safra, o que indica que o nitrato, em algumas ocasiões, é lixiviado em concentrações acima da permitida pela potabilidade da água. Porém, é bom ressaltar que as análises realizadas por este trabalho se referem a amostras até 75cm de profundidade, não se podendo chegar a conclusões sobre o que viria a acontecer com o lençol freático. Mas pode-se antecipar que dificilmente este nitrato será modificado até atingir o aquífero, por falta de condições propícias às transformações das espécies nitrogenadas.

A amônia, expressa em N-NH<sub>3</sub>, com limite de 1,5 mg/L para o consumo humano, obteve, em todos os coletores, concentrações bem abaixo deste valor.

Tabela 5.23 – Concentração média de Nitrato das amostras extraídas dos coletores de drenagem nas três safras

Prof.de Irrigação	Perfil do solo(cm)	N-NO <sub>3</sub> (mg/L)				
		1a. Safra fim	2a. Safra fim	início	3a. Safra meio	fim
20cm	0-25	0,361	0,219	0,126	24,950	2,050
	25-50	0,190	-	-	-	-
	50-75	0,356	*	-	-	-
40cm	0-25	0,303	0,174	0,001	-	-
	25-50	-	0,288	0,094	16,860	-
	50-75	0,311	11,550	0,108	14,670	-
60cm	0-25	0,337	0,365	0,209	0,067	0,581
	25-50	-	0,213	0,290	-	-
	50-75	-	1,130	0,031	3,060	-

Obs.: (-) Não houve amostra suficiente para a análise deste parâmetro.

(\*) Abaixo do limite de detecção do aparelho

Analisando os resultados referentes ao nitrogênio Kjeldahl, cujos valores médios são apresentados na Tabela 5.24, e os valores de cada coletor são apresentados nas Tabelas B.5 a B.7

e Figuras B.7 e B.8, no Anexo B, pode-se observar que o nitrogênio sobre a forma orgânica corresponde à maior parte do nitrogênio total.

Tabela 5.24– Concentração média de Nitrogênio Total Kjeldahl das amostras extraídas dos coletores de drenagem nas três safras

Prof.de Irrigação	Perfil do solo(cm)	NTK (mg/L)				
		1a. Safra fim	2a. Safra fim	início	3a. Safra meio	3a. Safra fim
20cm	0-25	0,320	0,940	0,330	0,020	0,140
	25-50	1,080	-	-	-	-
	50-75	0,220	**	-	-	-
40cm	0-25	0,210	1,245	0,120	-	-
	25-50	-	0,827	0,310	0,200	-
	50-75	0,310	1,180	0,190	0,300	-
60cm	0-25	0,470	0,605	0,395	0,480	6,020
	25-50	-	0,665	0,420	-	-
	50-75	-	0,665	0,070	**	-

Obs.: (-) Não houve amostra suficiente para a análise deste parâmetro.

(\*\*) Erro no processamento da amostra (amostras perdidas)

Quanto ao fósforo, cujas concentrações médias por profundidade de irrigação e por safra são apresentadas na Tabela 5.25, observou-se uma redução nas concentrações da ordem de 95% dos valores encontrados nos coletores de drenagem livre em relação aos valores de fósforo presente no efluente anaeróbio, apresentado pela Tabela 5.12. É bom lembrar que no solo já existe uma quantidade de fósforo a ser considerada. Deste modo, pode-se considerar que o conjunto solo-planta retém com eficiência o fósforo aplicado na irrigação, apesar de terem ocorrido dois picos, um na 2ª safra, safra de chuva, e outro no final da 3ª safra. Não se pode indicar a chuva como a responsável por esses picos, pois, no final da 3ª safra, o total precipitado foi mínimo, conforme pode ser visto na Tabela 5.13. Não foi observado qualquer aumento das concentrações de fósforo após o estágio de desenvolvimento da planta, o que mostra a difícil lixiviação do fósforo.

Tabela 5.25– Concentração média de Fósforo das amostras extraídas dos coletores de drenagem nas três safras

Prof.de Irrigação	Perfil do solo(cm)	Fósforo (mg/L)				
		1a. Safra fim	2a. Safra fim	início	3a. Safra meio	fim
20cm	0-25	0,054	0,289	0,052	0,029	0,049
	25-50	0,045	-	-	-	-
	50-75	0,030	0,051	-	-	-
40cm	0-25	0,027	0,340	0,035	-	-
	25-50	-	0,153	0,088	0,058	-
	50-75	0,138	-	0,021	0,036	-
60cm	0-25	0,027	-	0,096	0,103	0,392
	25-50	-	0,148	0,119	-	-
	50-75	-	0,103	0,055	0,048	-

Obs.: (-) Não houve amostra suficiente para a análise deste parâmetro.

Analisando as Tabelas 5.26 e 5.27, observa-se a redução de cerca de 65% na concentração de coliformes totais e fecais retidos nos coletores de drenagem livre. As Tabelas B.8 a B.10 e as Figuras B.10 e B.11, no Anexo B, apresentam os valores de coliformes encontrados em cada coletor ao longo das 3 safras. Observa-se que os valores não se alteram muito nos primeiros 75cm de solo para as diferentes lâminas.

A presença de coliformes no fim da 2ª safra mostra que, após três meses sem a aplicação de efluente anaeróbio na irrigação, as concentrações do grupo coliforme se mantiveram próximas às encontradas no período de seca, quando ocorria a irrigação freqüente, ou seja, esses resultados indicam que os microrganismos encontram no solo um ambiente propício à sua sobrevivência, conforme já estudado por BYAPPANAHALLI (1998). Observa-se, no entanto, que as concentrações de coliformes no efluente anaeróbio, apresentadas na Tabela 5.12, são da ordem de  $10^7$  NMP/100mL, encontrando-se bem acima do valor recomendado pela WHO (1989), conforme verificado na Tabela 3.2, que é de  $10^3$  NMP/100mL. O valor máximo esperado do efluente

tratado pelo método da irrigação é de 10 NMP/100mL, segundo USEPA (1981), conforme apresentado na Tabela 3.4.

Tabela 5.26 – Concentração média de Coliformes Totais das amostras extraídas dos coletores de drenagem nas três safras.

Prof.de Irrigação	Perfil do solo(cm)	1a. Safra fim	2a. Safra fim	início (NMP/100mL)	3a. Safra meio	fim
20cm	0-25	6,56E+03	2,42E+04	1,00E+02	1,00E+02	5,48E+04
	25-50	1,00E+02	-	-	-	-
	50-75	1,55E+03	2,42E+04	-	-	-
40cm	0-25	1,37E+04	2,42E+04	2,82E+03	1,00E+02	-
	25-50	-	2,42E+04	2,14E+04	2,55E+02	-
	50-75	4,20E+04	2,42E+04	4,79E+04	1,00E+02	-
60cm	0-25	3,60E+04	2,42E+04	1,61E+04	5,20E+02	1,26E+05
	25-50	-	2,42E+04	4,48E+03	-	-
	50-75	-	2,42E+04	7,47E+03	1,00E+02	-

Obs.: (-) Não houve amostra suficiente para a análise deste parâmetro.

De um modo geral, não foram identificados valores que indicassem o melhor desempenho de uma lâmina de irrigação para o tratamento do efluente. Julga-se que a diferença de 20cm entre as profundidades de irrigação é pequena, sendo a raiz capaz de absorver o líquido aplicado para os valores adotados.

Tabela 5.27– Concentração média de Coliformes Fecais das amostras extraídas dos coletores de drenagem nas três safras

Prof.de Irrigação	Perfil do solo(cm)	1a. Safra fim	2a. Safra fim	início (NMP/100mL)	3a. Safra meio	fim
20cm	0-25	1,00E+02	1,00E+01	1,00E+02	1,00E+02	3,00E+02
	25-50	1,00E+02	-	-	-	-
	50-75	1,00E+02	3,89E+02	-	-	-
40cm	0-25	5,90E+02	1,18E+03	1,00E+02	1,00E+02	-
	25-50	-	7,50E+02	1,00E+02	1,00E+02	-
	50-75	1,85E+03	3,72E+02	1,00E+02	1,00E+02	-
60cm	0-25	1,00E+02	9,83E+02	1,00E+02	1,00E+02	4,91E+04
	25-50	-	1,78E+02	1,00E+02	-	-
	50-75	-	8,45E+03	2,00E+02	1,00E+02	-

Obs.: (-) Não houve amostra suficiente para a análise deste parâmetro.

## 5.4 ANÁLISE AGRONÔMICA

Para a análise agronômica, foi instalado, além do “cenário esgoto”, o “cenário água”, que é composto de três parcelas, cada uma referente a uma lâmina hídrica correspondente às profundidades de irrigação de 20cm, 40cm e 60cm, idêntico às parcelas irrigadas com esgoto.

A produtividade agrícola foi analisada considerando-se a parte mais produtiva da parcela, descontando-se 1m de bordadura, restando uma área de 2m x 2m no centro da parcela. A análise foi feita através da biomassa seca a 60°-70° C, da biomassa a 13% de umidade e da biomassa de 1000 grãos a 13% de umidade.

#### **5.4.1 Produtividade Agrícola:**

##### **Análise da Biomassa a 60°-70°C**

A Tabela 5.28 apresenta os valores médios da biomassa para os grãos de milho secos a 60° C até atingirem peso constante entre duas pesagens. Observa-se que, para a 1ª safra (safra de seca), ocorreu maior produtividade para a lâmina de irrigação correspondente à profundidade de irrigação de 60cm. Porém, para a 2ª, as maiores produtividades ocorreram para a profundidade de irrigação de 40cm, valor este utilizado pelos agrônomos na irrigação da cultura de milho.

Convém observar também que, na 2ª safra, a produtividade agrícola dos cenários água e esgoto para a profundidade de irrigação de 20cm e de 60cm obtiveram valores próximos, o que indica que a aplicação de lâminas de irrigação maiores que as indicadas pela agronomia não correspondem a uma maior produtividade agrícola.

A 3ª safra foi marcada por distribuição irregular de pés de milho nas parcelas, existindo pés sem espiga e a falta de pés de milho nas linhas de cultivo, situação agravada pela ocorrência de frentes frias na safra. Por isso, não cabe a análise da 3ª safra por este método de análise de produtividade.



Tabela 5.28 – Valores médios obtidos para os cenários água e esgoto – Método da Biomassa a 60°-70°C.

Cenário	Prof. de irrigação	Biomassa (kg/ha)					
		1a safra		2a safra		3a safra	
		Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio
Água	20cm	22,2	38,5	2665,0	1298,4	369,8	353,0
	40cm	363,6	192,8	5517,5	2214,6	923,0	495,2
	60cm	827,8	238,9	2098,8	163,9	1122,7	1078,4
Esgoto	20cm	44,4	38,5	3782,5	3506,8	505,1	440,4
	40cm	303,7	167,5	4450,0	1572,6	876,7	91,3
	60cm	398,8	208,2	3550,0	1738,7	944,7	872,2

#### **Análise da Biomassa a 13% de umidade**

A Tabela 5.29 apresenta os valores médios da biomassa para os grãos de milho a 13% de umidade. Assim como para a biomassa a 60°-70°C, a biomassa para a produtividade de irrigação de 40cm foi a mais elevada tanto para o “cenário água” quanto para o “cenário esgoto” na 2ª safra. Observa-se, também, que os valores referentes à produtividade para as profundidades de irrigação de 20cm e 60cm encontram-se próximos.

Para a 3ª safra, cabe o mesmo comentário feito para a análise da biomassa para a massa seca: devido à irregularidade da safra, não serão tecidos comentários para este método de produtividade.

Tabela 5.29 – Valores médios obtidos para os cenários água e esgoto – Método da Biomassa a 13% de umidade

Cenário	Prof. de irrigação	Biomassa (kg/ha)					
		1a safra		2a safra		3a safra	
		Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio
Água	20cm	-	-	3982,2	1940,1	1042,7	995,3
	40cm	-	-	8244,5	3309,2	2602,8	1396,5
	60cm	-	-	3136,1	245,0	3165,9	3041,0
Esgoto	20cm	-	-	5652,0	5240,1	1424,3	1242,0
	40cm	-	-	6649,4	2349,8	2472,2	257,4
	60cm	-	-	5304,6	2598,1	2663,9	2459,5

Obs.: (-) Não foram realizadas análises por este método na 1ª safra.

(\*) Para o cenário não irrigado, só foi considerada uma parcela, ao que não cabe o cálculo de desvio padrão.

### Análise da Biomassa de 1000 grãos a 13% de umidade

A Tabela 5.30 apresenta os valores médios da biomassa para 1000 grãos de milho a 13% de umidade. Assim como para a biomassa a 60°-70°C e para a biomassa a 13% de umidade, foram obtidos para a biomassa relativa a 1000 grãos maiores valores de produtividade para a profundidade de irrigação de 40cm na 2ª e 3ª safras. Os valores para as profundidades de irrigação de 20cm e 60cm mantiveram-se próximos na 2ª safra, obtendo-se valores um pouco melhores para a profundidade de irrigação de 60cm na 3ª safra. Observa-se, também, que os valores obtidos para o “cenário esgoto” encontram-se próximos aos do “cenário água”, o que indica que não há prejuízo agrícola quando se utiliza o esgoto como fertilizador do solo sem adubação prévia.

Tabela 5.30 – Valores médios obtidos para os cenários água e esgoto – Método da Biomassa para 1000 grãos.

Cenário	Prof. de irrigação	Biomassa (g / 1000 grãos)					
		1a safra		2a safra		3a safra	
		Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio
Água	20cm	-	-	488,4	74,0	207,9	35,6
	40cm	-	-	555,5	59,3	453,2	86,4
	60cm	-	-	467,7	70,3	354,6	97,4
Esgoto	20cm	-	-	515,3	63,4	254,5	115,1
	40cm	-	-	520,4	31,1	387,0	42,8
	60cm	-	-	502,7	45,2	365,1	91,3

Obs.: (-) Não foram realizadas análises por este método na 1ª safra.

(\*) Para o cenário não irrigado só foi considerada uma parcela, ao que não cabe o cálculo de desvio padrão.

Buscando apresentar a qualidade das espigas de milho produzidas por safra e por cenário, foi separado um milho padrão de cada profundidade de irrigação (20cm, 40cm e 60cm) como mostram as ilustrações constantes nas Figuras 5.1 a 5.6.

Observa-se, pelas Figuras 5.1 e 5.2, que o milho produzido na 1ª safra foi um milho de qualidade muito baixa. Comparando os cenários água e esgoto, constata-se que a produtividade das espigas foi praticamente a mesma, indicando que o milho irrigado com efluente anaeróbio em solo natural obtém características muito próximas às do irrigado com água em solo adubado.

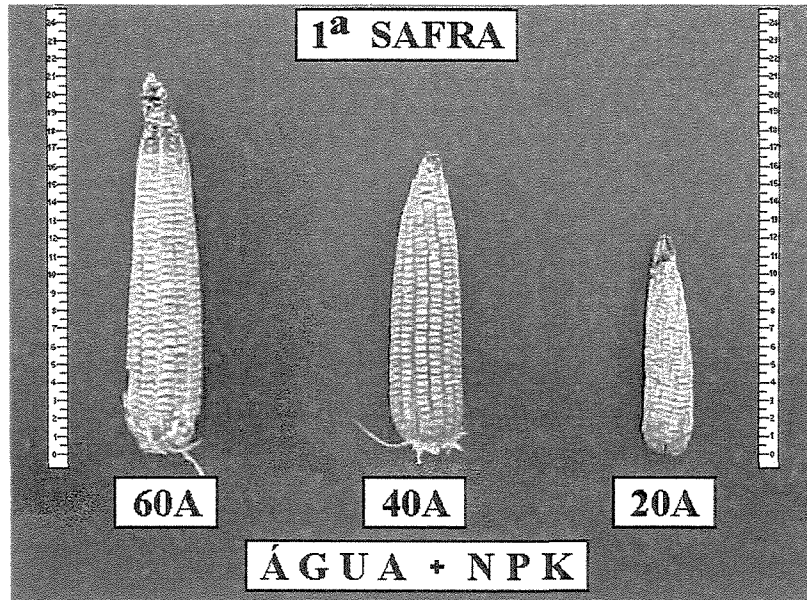


Figura 5.1 – Qualidade das espigas de milho produzidas no “cenário água” – 1ª safra.

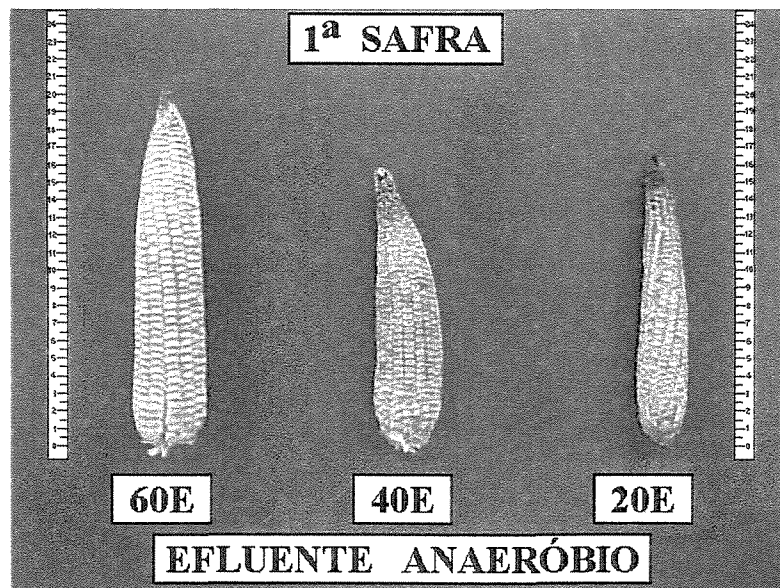


Figura 5.2 – Qualidade das espigas de milho produzidas no “cenário esgoto” – 1ª safra.

Na 2ª safra, nas Figuras 5.3 e 5.4, observa-se um milho de melhor qualidade que o da primeira, com desempenho novamente semelhante entre os cenários água e esgoto.

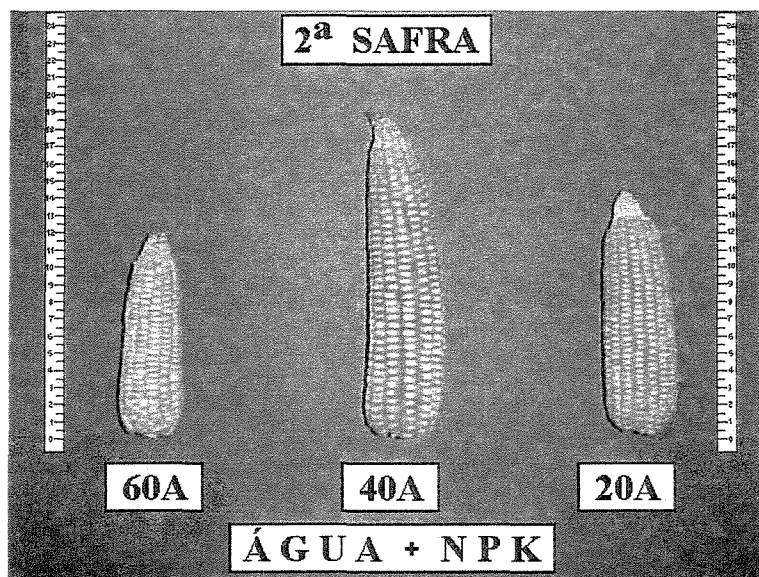


Figura 5.3 – Qualidade das espigas de milho produzidas no “cenário água” – 2ª safra.

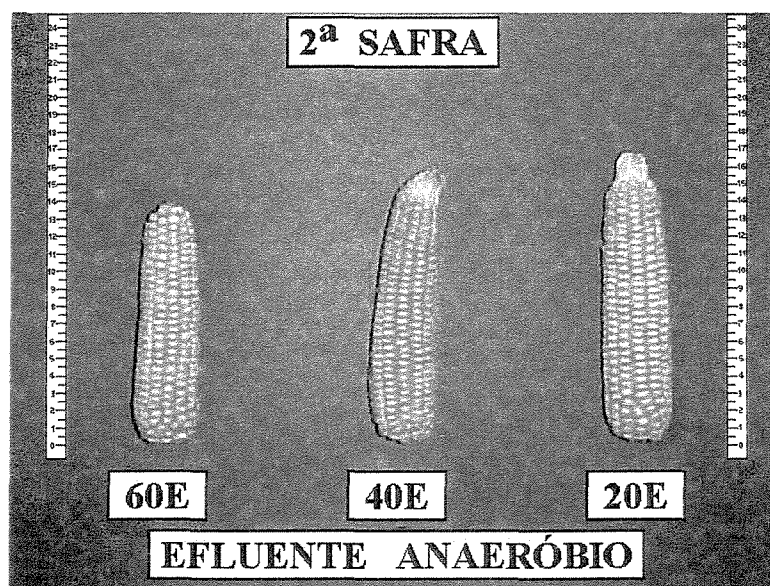


Figura 5.4 – Qualidade das espigas de milho produzidas no “cenário esgoto” – 2ª safra.

O milho apresentado na 3ª safra, conforme as Figuras 5.5 e 5.6, apresenta-se bem mais produtivo que na 1ª safra, o que indica que houve uma fertilização efetiva do solo no decorrer das três safras. Há uma queda na produção em relação à 2ª. safra, o que se deve à quantidade de água abundante ocorrida na 2ª safra, sem ocorrer algum déficit hídrico ao longo de toda a safra.

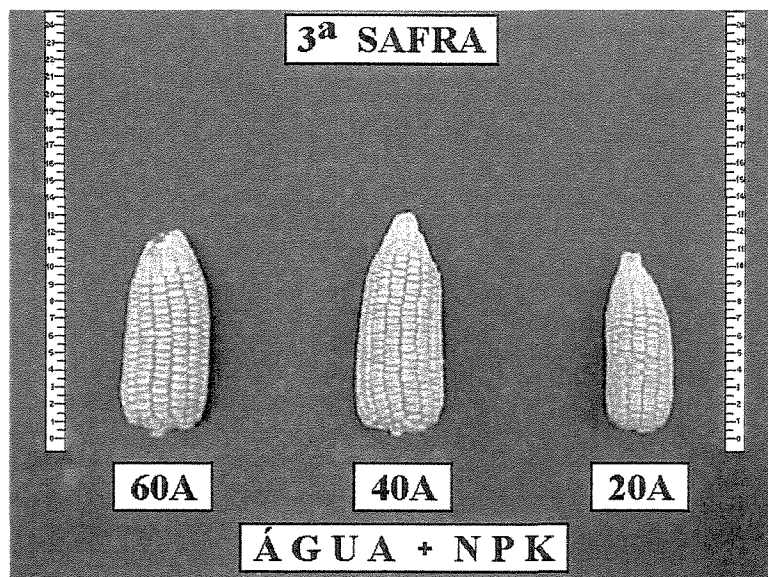


Figura 5.5 – Qualidade das espigas de milho produzidas no “cenário água” – 3ª safra.

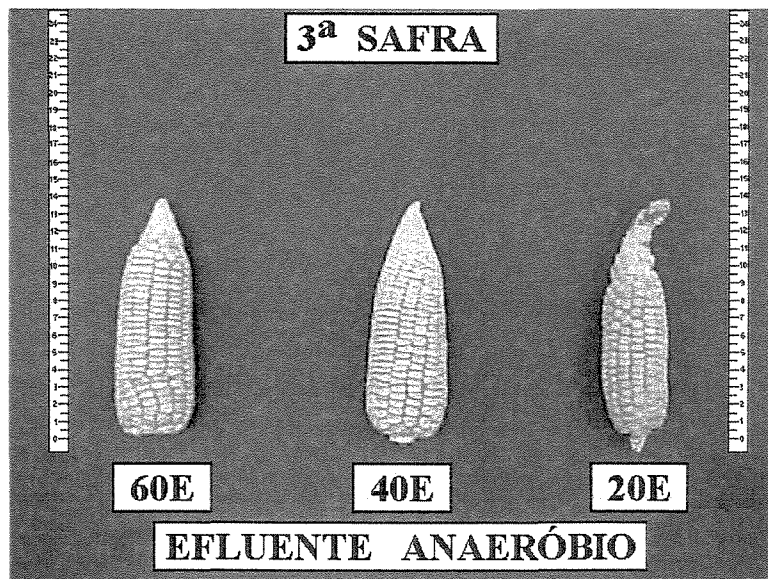


Figura 5.6 – Qualidade das espigas de milho produzidas no “cenário esgoto” – 3ª safra.

## 6 CONCLUSÕES

O reuso do efluente anaeróbio na irrigação de uma cultura é, sem dúvida, vantajoso tanto no aspecto sanitário como no agrônômico. As características físico-químicas consideradas insatisfatórias no tratamento anaeróbio são aproveitadas pelo sistema solo-planta, obtendo-se resultados de produtividade agrícola condizentes a um cenário de irrigação com água em solo adubado.

No aspecto sanitário, foram obtidos resultados com elevado grau de tratamento para a Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e fósforo. Observaram-se algumas questões referentes ao nitrato, coliformes e sólidos.

O nitrato é lixiviado com mais intensidade após o estágio de desenvolvimento da planta, quando a necessidade hídrica da cultura começa a reduzir-se.

Os resultados obtidos para coliformes indicam que esses patógenos sobrevivem no solo onde encontram temperatura e umidade favoráveis à sua sobrevivência .

Os resultados de sólidos indicam que há uma boa remoção dos sólidos provenientes do efluente anaeróbio pelo solo, indicando que as concentrações de sólidos suspensos encontradas nas amostras são relativas aos sólidos presentes no solo.

Na investigação da lâmina de irrigação mais adequada para o tratamento sanitário do efluente anaeróbio, não foram identificadas grandes diferenças entre as profundidades de 20cm, 40cm e 60cm para nenhum dos parâmetros analisados.

Observou-se que, aplicando-se a quantidade de água demandada pela planta, o volume de líquido não absorvido por ela é mínimo, como pode ser percebido no pequeno número de amostras coletadas neste experimento, reduzindo-se o risco de contaminação do lençol freático.



## **7 RECOMENDAÇÕES**

A avaliação da lixiviação do nitrato ao longo do ciclo vegetativo deve ser investigada com um detalhamento maior. Para a obtenção de maiores amostragens em qualquer estágio do ciclo, o uso da coleta de amostras através de sondas porosas ou através da extração de amostras de solo é recomendado. A metodologia da extração de amostragens de solo traz a vantagem de poder alterar a camada de estudo do solo, caso necessário.

Deve ser realizada uma análise efetiva do balanço de massa do nitrogênio neste sistema, investigando o quanto do nitrogênio amoniacal é efetivamente absorvido pela planta, o quanto é volatilizado e o quanto é transformado em nitrato

Cabem investigações mais aprofundadas quanto à sobrevivência dos coliformes no solo e ao valor máximo de coliformes que pode ocorrer em um efluente, de modo que o sistema solo-planta possa reduzi-los a valores aceitáveis para o consumo humano. A identificação desta concentração máxima de coliformes seria benéfica para o dimensionamento de um sistema intermediário para a remoção de patógenos anterior à aplicação do efluente na irrigação.

Em virtude de os valores escolhidos para as lâminas aplicadas não terem comprometido a qualidade sanitária da água percolada, deve-se buscar o limite a partir do qual a qualidade do líquido percolado começa a ficar comprometida em função do excesso de efluente anaeróbio aplicado na irrigação.

Para esclarecer a questão quanto à porcentagem da concentração dos sólidos que é proveniente do esgoto, seria conveniente a criação de um cenário em que fosse aplicada água em parcela não adubada, podendo ser identificada a quantidade de sólidos provenientes do solo natural. Neste cenário, seria possível, também, identificar outros parâmetros, como coliformes e nitrato, presentes no solo natural. Seria um balizamento das características dos parâmetros sanitários no solo natural.

Seria conveniente fazer a análise da qualidade do percolado no “cenário água”, de modo a identificar a qualidade do líquido quando é realizada a irrigação com água em solo adubado, comparando os resultados sanitários deste cenário com o “cenário esgoto”, em que, para parâmetros como o nitrato, pode vir a ser encontrada uma qualidade pior do líquido infiltrado para o “cenário água”.

A continuidade de estudos que investiguem a utilização de efluentes anaeróbios em sistemas de irrigação é necessária, visto a precariedade de referências bibliográficas sobre o assunto.

Os resultados deste projeto abriram um novo projeto de pesquisa já aprovado pelo CT-HIDRO, no qual será realizada a correção de nutrientes do efluente anaeróbio, entre outras medidas.

## **8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13969. Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação.**, 1997. 60p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7229. Projeto, construção e operação de tanques sépticos**, 1993, 15p.

ANGELAKIS, A. N. Status of wastewater reuse practice in the Mediterranean basin: need for guidelines . **Water Research**,. Elsevier Science Ltd. v.33, n.10, Great Britain: 1999, p.2201-2217.

ANJOS, A. R.M.; MATTIAZZO, M.E. Metais pesados em plantas de milho cultivadas em latossolos repetidamente tratados com biossólido. **Scientia Agrícola**, v.57, n.4,. 2000, p.769-776.

AWWA/APHA/WEF. **Standard methods for exam. of water and wastewater**. 19. Ed. New York,1995.

BOUWER, H.; FOX, P.; WESTERHOFF, P. Irrigation with Treated Effluent. How this practice affect underlying groundwater. **Water Environment and Technology**, 1998.

BÜLL, L.T. e CANTARELLA, H. **Cultura do Milho: Fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POTAFOS, 1993, 301p.

CAMARGO, S. A. R. **Filtro anaeróbio com enchimento de bambu para o tratamento de esgotos sanitários: avaliação da partida e operação.** 2000. 181p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

CAMPOS, J.R.(coord). **Tratamento de esgotos domésticos por processo anaeróbio e disposição controlada no solo.** Rio de Janeiro: ABES, 1999, 464p

CARRARO, V. J. **Tratamento de efluente bruto cítrico líquido no solo por meio de sulcos largos de infiltração.** 1995. 166p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

CHERNICHARO, C.A.L. **Reatores anaeróbios.** Belo Horizonte: DESA, UFMG,1997, 246p.

CORAUCCI FILHO,B.; SIVIERO, R A.; VIEIRA, D. B.; FIGUEIREDO, R. F.; ALBUQUERQUE, A. F.; MARQUEZINI, I. S. Aplicação no solo de água residuária cítrica contendo óleo essencial utilizando a técnica de irrigação por sulcos de infiltração. In: **I Simposio Latino Americano de Tratamiento y Reuso del Agua.** Cidade do México-DF, México , 1998. **Anais**, Cidade do México-DF, México , 1998, UNAM/AMISA, Tomo I; pp. 4-12 a 4-23, vol I.

FEACHEN, R.G. *et alli*. Health aspects of excreta and sludge management – a state of the art review. **Appropriate technology for water supply and sanitation**, vol. 3, Washigton, DC. The World Bank, dez, 1980.

FRIEDLER, E. Jeezrael Valley project for wastewater reclamation and reuse, Israel. **Water Science and Technology** . v.40, n.4, England: Elsevier Science Ltd., 1999. p347-354

FOLEGATTI, M.V.(coord). **Fertirrigação:citrus, flores, hortaliças.** Guaíba: Agropecuária, 1999,460p

GHEYI,H.R. KÖNIG, A. CEBALLOS, B.S.O. DAMASCENO, F.A.V. **Tratamento e uso de águas residuárias.**Campina Grande: UFPB, 1999, 110 p.

HESPANHOL, I. Aspectos técnicos e de saúde pública relativos ao uso de esgotos na agricultura e aquacultura – In: **Encontro Internacional Sobre o Desenvolvimento da Década da Água**. Lisboa, Portugal: 19 a 22 abril de 1988. Governo de Portugal, República Federal da Alemanha, PNUD, OMS, 1988, 68p.

HARUVY, N. Wastewater irrigation decision-making: farm sector interests versus the nation's . **International Water & Irrigation Review**. Tel Aviv, v.17, n.4, 1997. pp.24-26.

KÖNIG, A.; CEBALLOS, B.S.O.; SANTOS, A.V.; CAVALCANTE, R.B.; ANDRADE. Uso de esgoto tratado como fonte de água não convencional para irrigação de forrageiras.- In: **19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Foz do Iguaçu: ABES, 1997, 1CD.

PEARSON, H.W.. The reuse of waste stabilization pond effluents for aquaculture and agriculture. In. **Seminário Regional de Investigación sobre Lagunas de Estabilización**. Lima: CEPIS – OMS/OPS, 1986. pp.89-99.

PESCOD, M.B. **Wastewater and use in agriculture**. Rome: FAO.1992 (FAO Irrigation and Drainage Paper 47)

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.A.; FURLANI, A A M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1996, 285p. (Boletim Técnico 100).

REYEZ, O. Low-strength wastewater treatment by a multistage anaerobic filter packed with waste tyre rubber. **Bioresource Technology**, v70, Great Britain: Elsevier Ltd, 1999 pp55-60.

STEFANUTTI, L. **Estudo das várias formas do nitrogênio orgânico em trinta solos representativos do estado de São Paulo**, 1991. 54f. Dissertação (Mestrado em Química Analítica). Instituto de Física e Química, Universidade de São Paulo, São Carlos.

USEPA. **Process design manual for land treatment of municipal wastewater.** Cincinnati, 1981.

USEPA. **The use of reclaimed water and sludge in food crop production,** 1992

VIEIRA, D.B. **As técnicas de irrigação.** 2.ed. São Paulo: Globo, 1995. 263p.

VIEIRA, D.B. **Curs aprofitament agrícola dels recursos hídrics de les conques.** Solsona: Universitat de Lleida, 1999.

WHO. Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture. **Technical Report Series No. 778.** WHO, Geneva, 1989.

## **ANEXOS**

## **Anexo A – Resultados Preliminares**



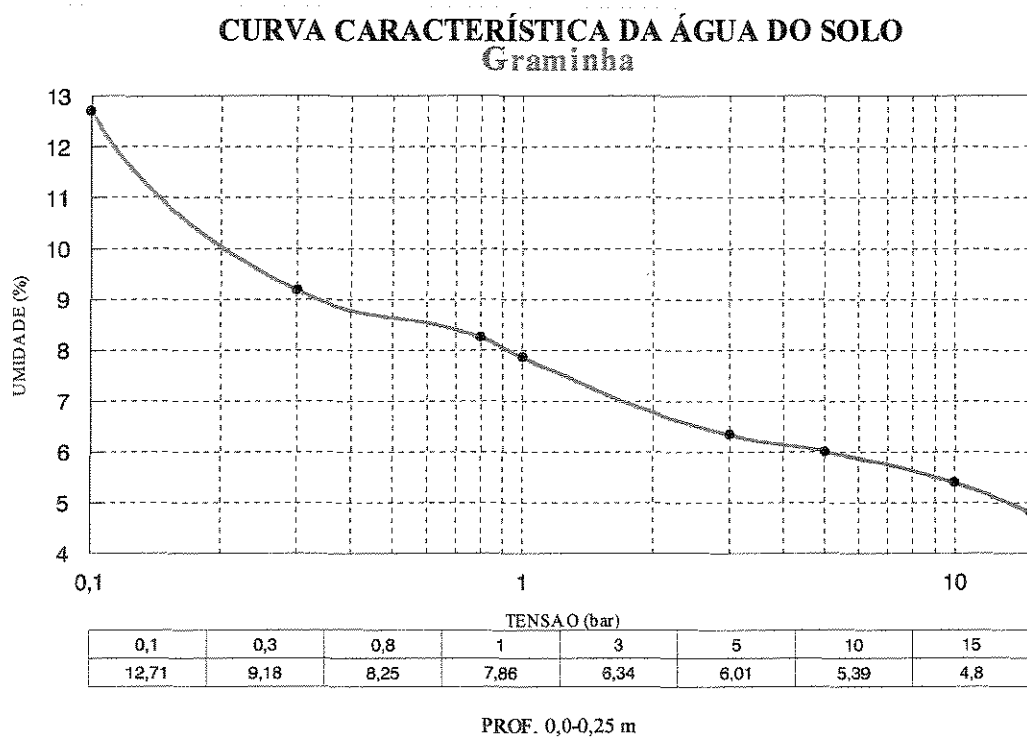


Figura A.1 – Curva característica de água no solo, para a camada de 0-25 cm , referente ao solo natural

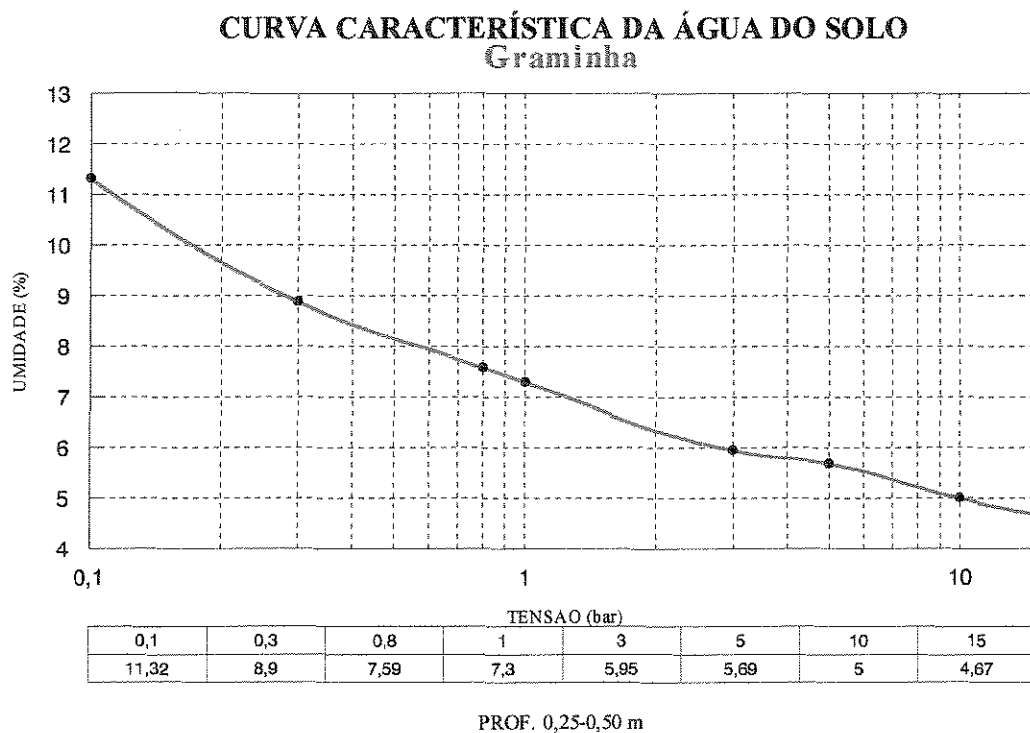


Figura A.2 – Curva característica de água no solo, para a camada de 25-50 cm , referente ao solo natural

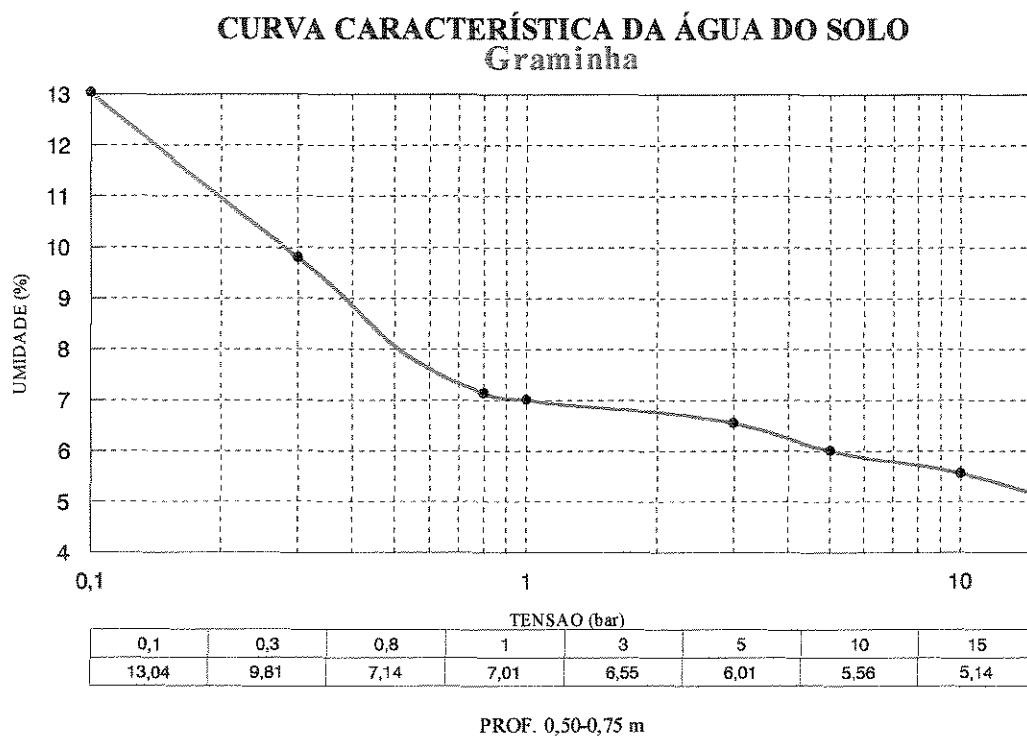


Figura A.3 – Curva característica de água no solo, para a camada de 50-75 cm , referente ao solo natural

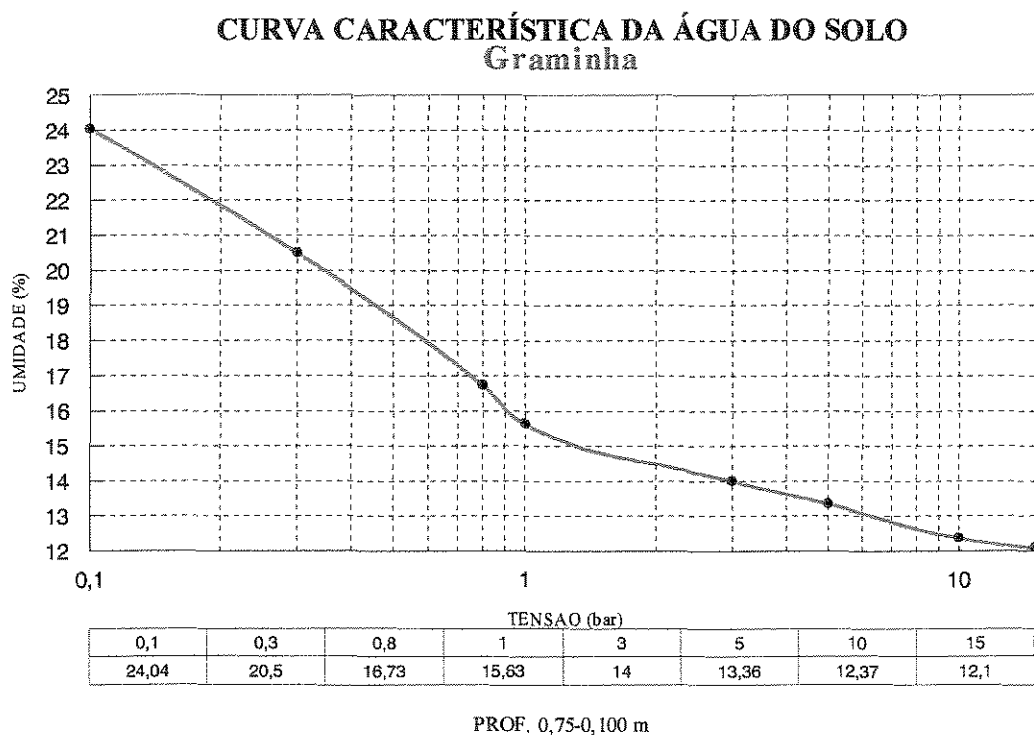


Figura A.4 – Curva característica de água no solo, para a camada de 75-100 cm , referente ao solo natural

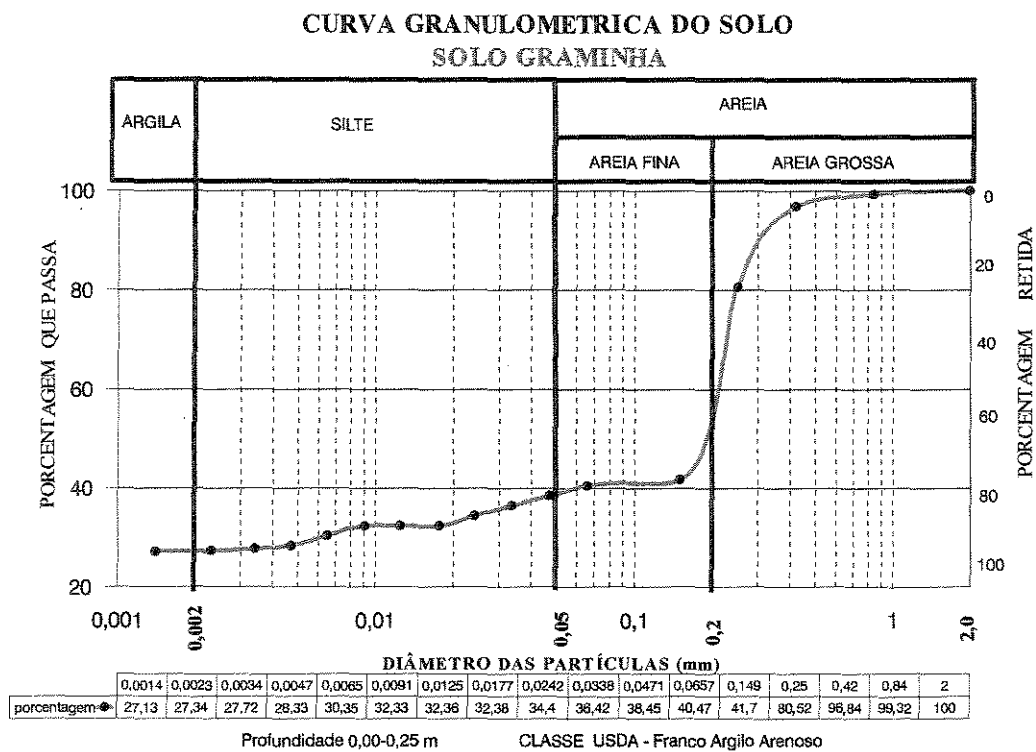


Figura A.5 – Curva granulométrica do solo em seu estágio natural, na profundidade de 0-25cm

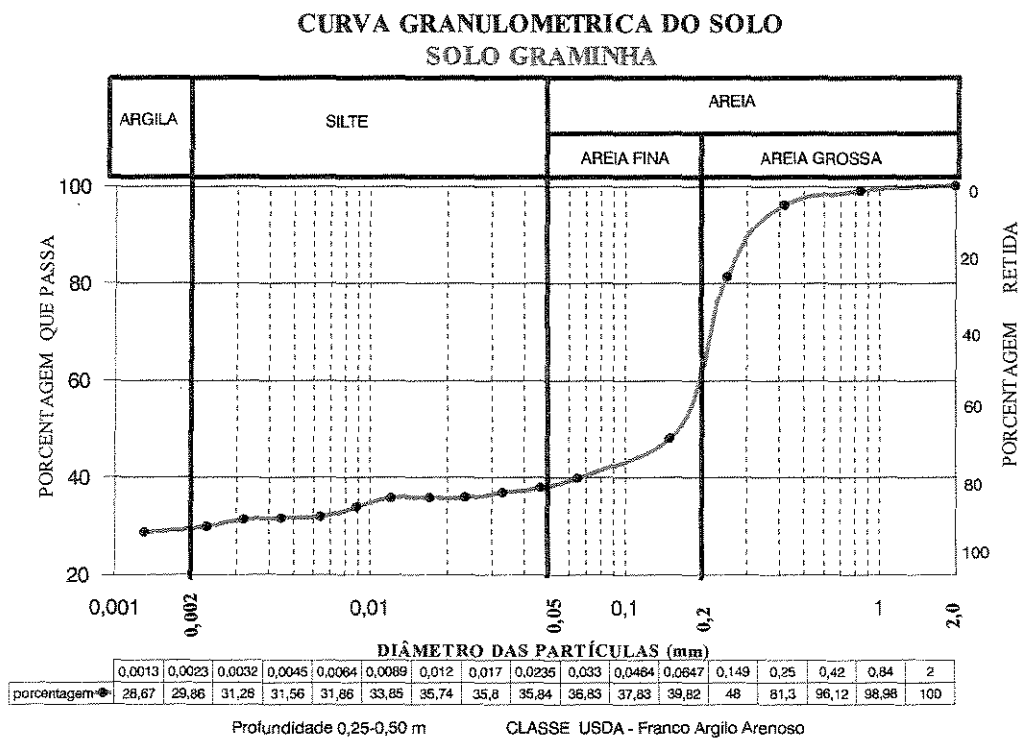


Figura A.6 – Curva granulométrica do solo em seu estágio natural, na profundidade de 25-50cm

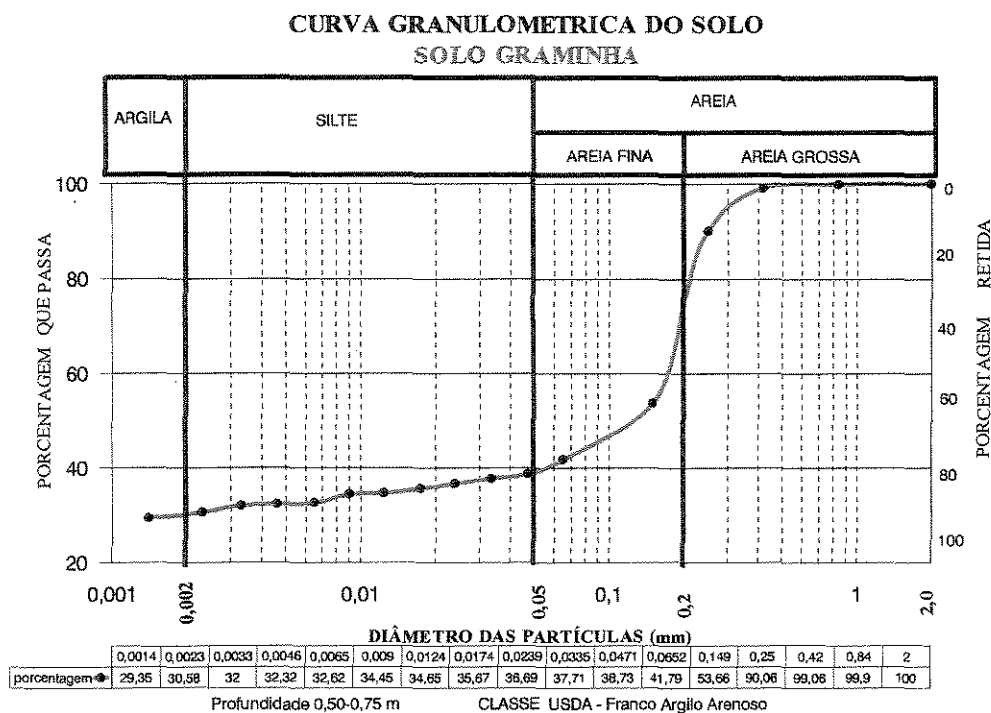


Figura A.7 – Curva granulométrica do solo em seu estágio natural, na profundidade de 50-75cm

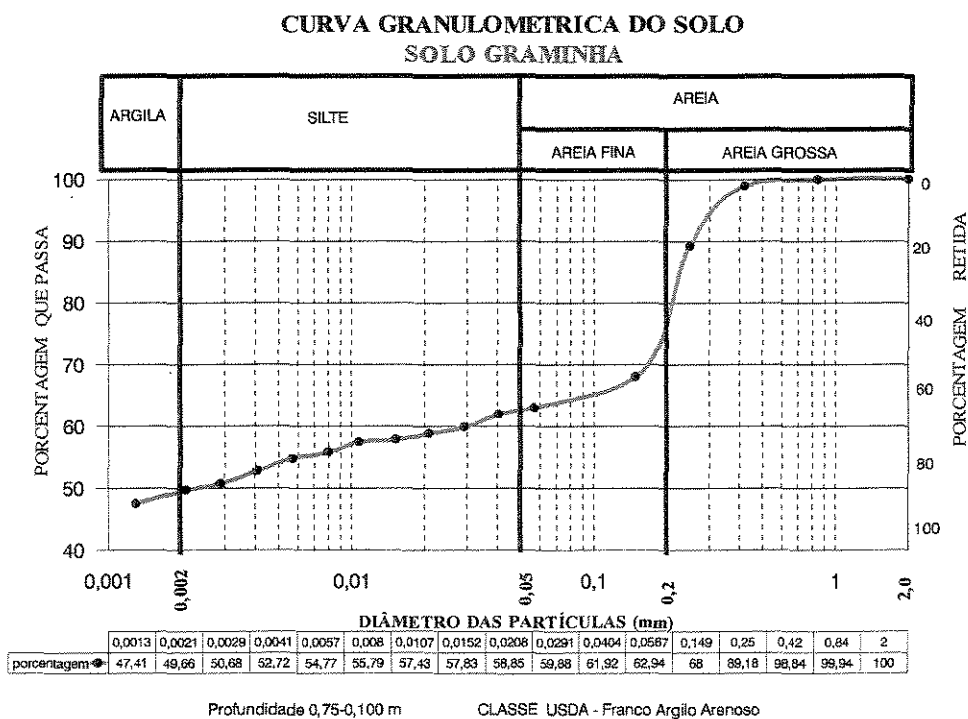


Figura A.8 – Curva granulométrica do solo em seu estágio natural, na profundidade de 75-100cm

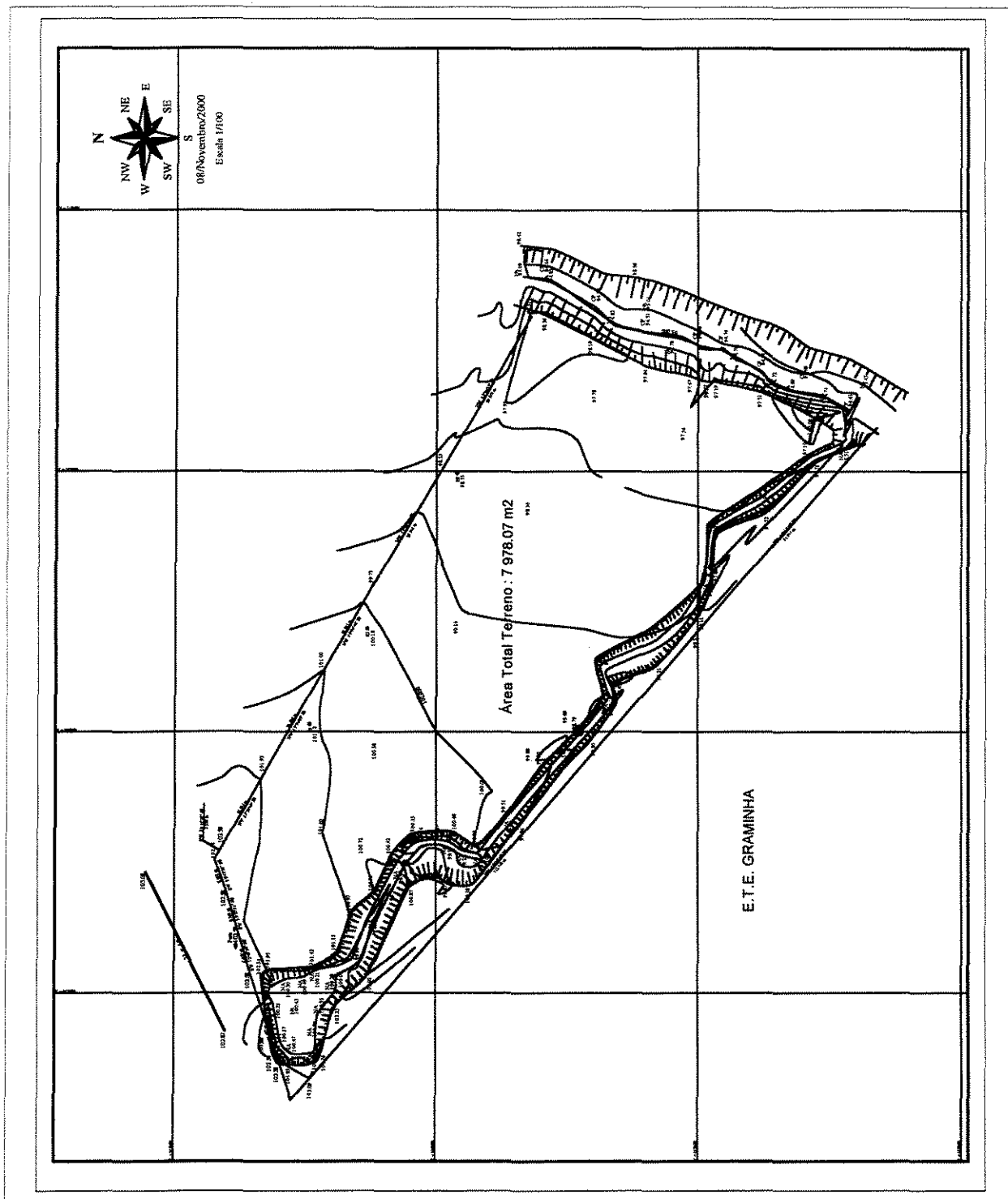


Figura A.9 - Levantamento topográfico da área experimental realizada no terreno natural

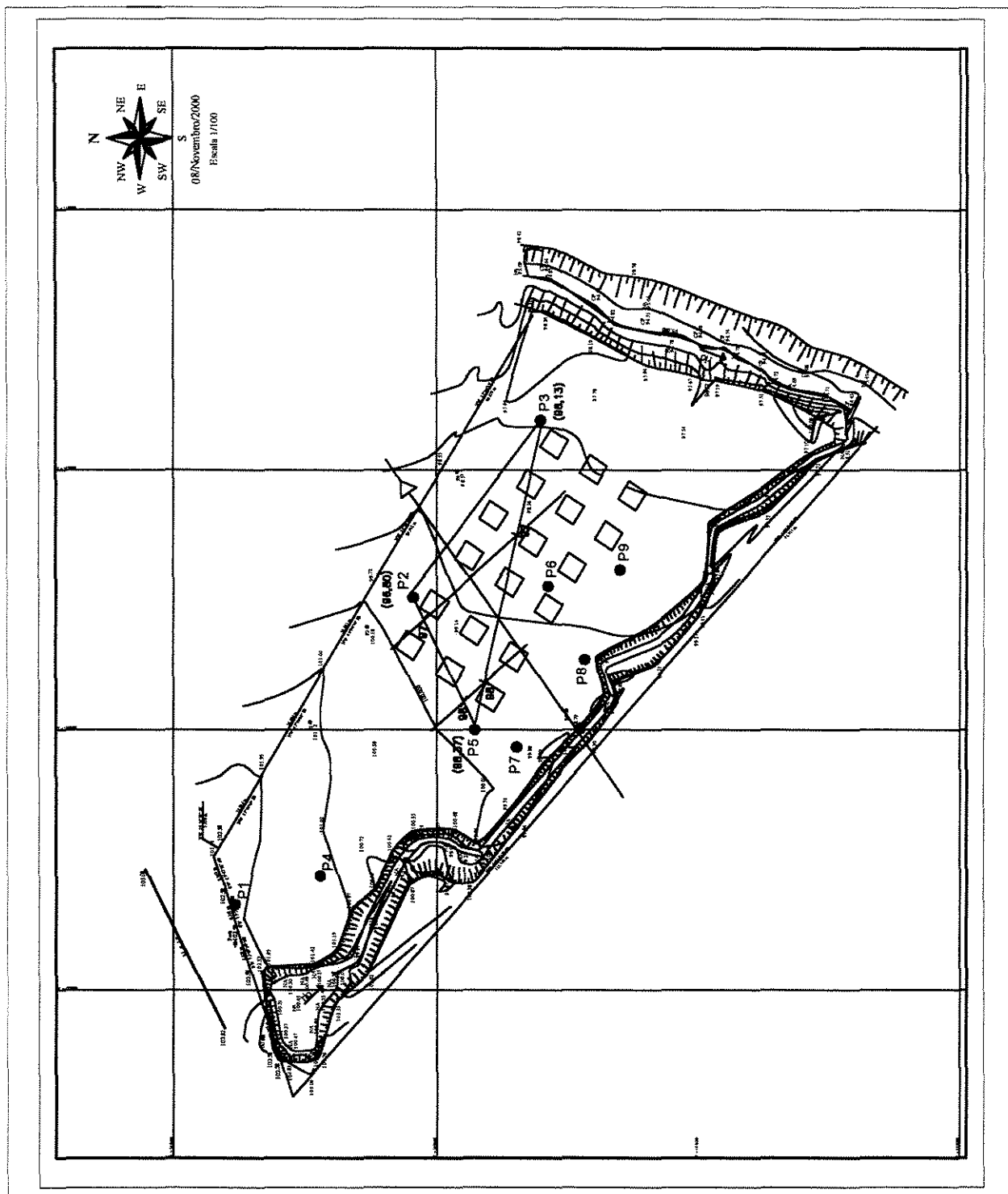


Figura A.10 - Indicação do sentido de escoamento do lençol freático

## **Anexo B – Resultados Sanitários**

Tabela B.1 - Valores referentes ao Potencial Hidrogeniônico, Demanda Química de Oxigênio, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Sólidos Suspensos Totais, Sólidos Suspensos Fixos e Sólidos Suspensos Voláteis das amostras extraídas dos coletores de drenagem livre na 1ª safra

Prof. Irrigação	Coleta no perfil do solo (cm)	pH	DQO (mgO <sub>2</sub> /L)	DBO (mgO <sub>2</sub> /L)	SST (mg/L)	SSF (mg/L)	SSV (mg/L)
<u>Coleta de amostra na 1ª safra (15/06/2001-87º dia do ciclo veg.-est. maturação)</u>							
h=20cm	0-25	5,7	*		-	-	-
		6,7	*		8,0	0,3	7,7
	25-50	2,8	44,3		-	-	-
	50-75	5,9	*		2,0	0,4	1,6
h=40cm	0-25	6,2	*		12,0	4,0	8,0
		6,2	*		28,0	22,0	6,0
	50-75	6,0	*		28,0	18,0	10,0
		5,4	*		6,0	2,0	4,0
h=60cm	0-25	5,9	*		-	-	-
		5,7	*		6,0	0,7	5,3

Obs.: (\*) Abaixo do limite de detecção do aparelho

(-) Não houve amostra suficiente para a análise deste parâmetro.

-Não houve análise de DBO na 1ª safra.

-O ciclo vegetativo da 1ª safra, período entre o plantio e a colheita, foi de 115 dias.



Tabela B.2 - Valores referentes ao Potencial Hidrogeniônico, Demanda Química de Oxigênio, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Sólidos Suspensos Totais, Sólidos Suspensos Fixos e Sólidos Suspensos Voláteis das amostras extraídas dos coletores de drenagem livre na 2ª safra

Prof. Irrigação	Coleta no perfil do solo (cm)	pH	DQO (mgO <sub>2</sub> /L)	DBO (mgO <sub>2</sub> /L)	SST (mg/L)	SSF (mg/L)	SSV (mg/L)
<u>Coleta de amostra no fim da 2a safra (15/01/2002 - após a colheita do milho)</u>							
h=20cm	0-25	6,8	36,7		54,5	44,0	10,5
	50-75	7,9	24,3		77,4	62,4	15,0
h=40cm	0-25	6,2	22,6		45,0	35,5	9,5
		6,5	58,8		315,7	137,1	178,6
	25-50	7,1	62,4		38,2	24,4	13,8
		6,7	18,2		48,5	42,5	6,0
		6,8	36,5		86,0	74,0	12,0
h=60cm	50-75	6,4	48,0		154,0	126,5	27,5
	0-25	6,9	144,9		60,5	48,0	12,5
		6,5	29,4		-	-	-
	25-50	6,9	21,4		63,2	56,9	6,3
		7,1	47,6		-	-	-
	50-75	6,3	3,8		18,8	12,5	6,3
		7,1	51,4		54,0	44,0	10,0
		6,6	10,0		40,5	32,5	8,0

Obs.: (-) Não houve amostra suficiente para a análise deste parâmetro.

- Não houve análise de DBO na 2ª safra.

- O ciclo vegetativo da 2ª safra, período entre o plantio e a colheita, foi de 107 dias.

Tabela B.3 - Valores referentes ao Potencial Hidrogeniônico, Demanda Química de Oxigênio, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Sólidos Suspensos Totais, Sólidos Suspensos Fixos e Sólidos Suspensos Voláteis das amostras extraídas dos coletores de drenagem livre na 3ª safra

Prof. Irrigação	Coleta no perfil do solo (cm)	pH	DQO (mgO <sub>2</sub> /L)	DBO (mgO <sub>2</sub> /L)	SST (mg/L)	SSF (mg/L)	SSV (mg/L)
<u>Coleta de amostra no início da 3a safra (20/03/2002 - véspera do plantio do milho)</u>							
h=20cm	0-25cm	6,9	54,3	4,9	10,0	3,0	7,0
h=40cm	0-25cm	6,3	44,9	4,1	3,3	0,0	3,3
	25-50cm	6,4	31,5	2,8	70,0	66,0	4,0
	50-75cm	5,9	59,5 48,2	* 3,2	22,0 20,7	12,0 13,3	10,0 7,3
h=60cm	0-25cm	5,7	29,0	5,5	13,3	4,7	8,7
		5,2	44,7	2,9	30,0	21,3	8,7
	25-50cm	5,8	37,7	2,4	8,0	4,0	4,0
	50-75cm	6,1 4,2	34,4 *	3,3 *	69,3 28,0	65,3 18,0	4,0 10,0
<u>Coleta de amostra em meados da 3a safra (14/06/2002 - 85º dia do ciclo veget. est. maturação)</u>							
h=20cm	0-25cm	6,2	6,7	3,1	6,0	2,0	4,0
h=40cm	0-25cm	8,0	76,4	20,1	8,0	0,0	8,0
	25-50cm	6,3	49,6	12,3	22,0	8,0	14,0
		3,7	42,2	11,4	12,0	0,0	12,0
	50-75cm	5,1	16,4	4,1	46,0	42,0	4,0
h=60cm	0-25cm	7,8	22,5	6,2	10,0	8,0	2,0
	50-75cm	6,6	15,6	2,6	-	-	-

Obs.: (\*) Abaixo do limite de detecção do aparelho.

(-) Não houve amostra suficiente para a análise deste parâmetro.

- O ciclo vegetativo da 3ª safra, período entre o plantio e a colheita, foi de 134 dias.

Prof. Irrigação	Coleta no perfil do solo (cm)	pH	DQO (mgO <sub>2</sub> /L)	DBO (mgO <sub>2</sub> /L)	SST (mg/L)	SSF (mg/L)	SSV (mg/L)
--------------------	-------------------------------------	----	------------------------------	------------------------------	---------------	---------------	---------------

Coleta de amostra no fim da 3ª safra (02/07/2002 - último dia do ciclo veget.)

h=20cm	0-25	6,6	2,8	1,8	12,0	10,0	2,0
h=60cm	0-25	4,5	35,4	11,5	46,0	6,0	40,0
		7,4	2,6	0,8	16,0	8,0	8,0

Obs.: - O ciclo vegetativo da 3ª Safra, período entre o plantio e a colheita, foi de 134 dias

Tabela B.4 - Valores referentes ao Nitrogênio Amoniacal, Nitrito, Nitrato, Nitrogênio Kjeldahl e Fósforo Total das amostras extraídas dos coletores de drenagem livre na 1ª safra

Prof. Irrigação	Coleta no perfil do solo (cm)	N-NH <sub>3</sub> (mg/L)	N-NO <sub>2</sub> (mg/L)	N-NO <sub>3</sub> (mg/L)	NTK mg/L	Fósforo (mg/L)
<u>Coleta de amostra na 1ª safra (15/06/2001-87º dia do ciclo veg.-est. maturação)</u>						
h=20cm	0-25	*	0,010	0,336	0,400	0,073
		*	0,002	0,386	0,240	0,034
	25-50	*	0,858	0,190	1,080	0,045
	50-75	*	0,004	0,356	0,220	0,030
h=40cm	0-25	*	0,005	0,336	0,200	0,023
		*	0,007	0,270	0,220	0,031
	50-75	*	0,014	0,380	0,240	0,187
		*	0,006	0,242	0,380	0,089
h=60cm	0-25	0,040	0,018	0,300	0,660	0,020
		*	0,004	0,374	0,280	0,034

Obs.: (\*) Abaixo do limite de detecção do aparelho

- O ciclo vegetativo da 1ª safra, período entre o plantio e a colheita, foi de 115 dias.

Tabela B.5 - Valores referentes ao Nitrogênio Amoniacal, Nitrito, Nitrato, Nitrogênio Kjeldahl e Fósforo Total das amostras extraídas dos coletores de drenagem livre na 2ª safra

Prof. Irrigação	Coleta no perfil do solo (cm)	N-NH <sub>3</sub> (mg/L)	N-NO <sub>2</sub> (mg/L)	N-NO <sub>3</sub> (mg/L)	NTK mg/L	Fósforo (mg/L)
Coleta de amostra no fim da 2a safra (15/01/2002 - após a colheita do milho)						
h=20cm	0-25	*	0,098	0,219	0,940	0,289
	50-75	*	0,014	*	x	0,051
h=40cm	0-25	0,260	0,007	*	0,910	0,073
		*	0,123	0,347	1,580	0,606
	25-50	0,020	0,012	*	0,990	0,097
		*	0,074	0,148	0,260	0,208
		*	0,153	0,715	1,230	-
	50-75	*	0,013	11,550	1,180	-
h=60cm	0-25	*	0,065	0,272	0,880	-
		*	0,127	0,457	0,330	-
	25-50	*	0,063	0,283	0,250	0,148
		*	0,129	0,142	1,080	-
	50-75	*	0,007	*	x	-
		*	0,056	0,150	1,040	0,103
		*	0,028	3,240	0,270	-
		*				

Obs.: (\*) Abaixo do limite de detecção do aparelho

(-) Não houve amostra suficiente para a análise deste parâmetro.

(x) Erro de processamento da amostra (amostras perdidas).

- O ciclo vegetativo da 2ª safra, período entre o plantio e a colheita, foi de 107 dias.

Tabela B.6 - Valores referentes ao Nitrogênio Amoniacal, Nitrito, Nitrato, Nitrogênio Kjeldahl e Fósforo Total das amostras extraídas dos coletores de drenagem livre na 3ª safra

Prof. Irrigação	Coleta no perfil do solo (cm)	N-NH <sub>3</sub> (mg/L)	N-NO <sub>2</sub> (mg/L)	N-NO <sub>3</sub> (mg/L)	NTK mg/L	Fósforo (mg/L)
<u>Coleta de amostra no início da 3a safra (20/03/2002 - véspera do plantio do milho)</u>						
h=20cm	0-25	0,030	0,023	0,126	0,330	0,052
h=40cm	0-25	0,032	0,008	0,001	0,120	0,035
	25-50	0,050	0,017	0,094	0,310	0,088
	50-75	*	0,042	0,032	0,000	0,000
		*	0,023	0,183	0,380	0,042
h=60cm	0-25	0,010	0,028	0,254	0,310	0,094
		*	0,026	0,164	0,480	0,098
	25-50	*	0,034	0,290	0,420	0,119
	50-75	*	0,008	0,016	0,000	0,039
		*	0,028	0,045	0,140	0,070
<u>Coleta de amostra - meio da 3a safra (14/06/2002 - 85º dia do ciclo veget.)</u>						
				<u>est. maturação</u>		
h=20cm	0-25	0,009	0,007	24,950	0,020	0,029
h=40cm	0-25	-	-	-	-	-
	25-50	*	0,008	16,860	0,200	0,058
		-	-	-	-	-
	50-75	*	0,010	14,670	0,300	0,036
h=60cm	0-25	*	0,008	0,067	0,480	0,103
	50-75	*	0,013	3,060	x	0,048

Obs.: (\*) Abaixo do limite de detecção do aparelho

(-) Não houve amostra suficiente para a análise deste parâmetro.

(x) Erro de processamento da amostra (amostras perdidas).

- O ciclo vegetativo da 3ª safra, período entre o plantio e a colheita, foi de 134 dias.

<b>Prof. Irrigação</b>	<b>Coleta no perfil do solo (cm)</b>	<b>N-NH<sub>3</sub> (mg/L)</b>	<b>N-NO<sub>2</sub> (mg/L)</b>	<b>N-NO<sub>3</sub> (mg/L)</b>	<b>NTK mg/L)</b>	<b>Fósforo (mg/L)</b>
----------------------------	--	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	----------------------	---------------------------

Coleta de amostra no fim da 3ª safra (02/07/2002 - último dia do ciclo veget.do milho)

h=20cm	0-25	*	0,030	2,050	0,140	0,049
h=60cm	0-25	4,300	0,030	0,111	11,840	0,751
		*	0,010	1,050	0,200	0,032

Obs.: (\*) Abaixo do limite de detecção do aparelho

- O ciclo vegetativo da 3ª safra, período entre o plantio e a colheita, foi de 134 dias.

Tabela B.7 - Valores referentes ao Potencial Hidrogeniônico, Alcalinidade Total, Coliformes Totais e Coliformes Fecais das amostras extraídas dos coletores de drenagem livre na 1ª safra

Prof. Irrigação	Coleta no perfil do solo (cm)	pH	Alcalin Tot (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	Coli Totais (NMP/100mL)	Coli Fecais (NMP/100mL)
<u>Coleta de amostra na 1ª safra (15/06/2001-87º dia do ciclo veg.-est. maturação)</u>					
h=20cm	0-25	5,7	32,6	2,31E+03	1,00E+02
		6,7	124,8	1,08E+04	1,00E+02
	25-50	2,8	0,0	1,00E+02	1,00E+02
	50-75	5,9	25,0	1,55E+03	1,00E+02
h=40cm	0-25	6,2	41,2	1,00E+02	1,00E+02
		6,2	87,9	2,72E+04	1,08E+03
	50-75	6,0	57,5	2,10E+04	3,59E+03
		5,4	10,9	6,29E+04	1,00E+02
h=60cm	0-25	5,9	89,0	6,59E+04	1,00E+02
		5,7	48,8	6,09E+03	1,00E+02

Obs.: O ciclo vegetativo da 1ª safra, período entre o plantio e a colheita, foi de 115 dias.



Tabela B.8 - Valores referentes ao Potencial Hidrogeniônico, Alcalinidade Total, Coliformes Totais e Coliformes Fecais das amostras extraídas dos coletores de drenagem livre na 2ª safra

Prof. Irrigação	Coleta no perfil do solo (cm)	pH	Alcalin Tot (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	Coli Totais (NMP/100mL)	Coli Fecais (NMP/100mL)
Coleta de amostra no fim da 2a safra (15/01/2002 - após a colheita do milho)					
h=20cm	0-25	6,8	15,2	2,42E+04	1,00E+01
	50-75	7,9	78,1	2,42E+04	3,89E+02
h=40cm	0-25	6,2	6,5	2,42E+04	1,00E+01
		6,5	6,5	2,42E+04	2,36E+03
	25-50	7,1	30,4	2,42E+04	1,00E+01
		6,7	10,9	2,42E+04	2,19E+03
		6,8	41,2	2,42E+04	5,20E+01
	50-75	6,4	6,5	2,42E+04	3,72E+02
h=60cm	0-25	6,9	8,7	2,42E+04	1,00E+01
		6,5	10,9	2,42E+04	1,96E+03
	25-50	6,9	13,0	2,42E+04	3,45E+02
		7,1	15,2	2,42E+04	1,00E+01
	50-75	6,3	13,0	2,42E+04	2,42E+04
		7,1	23,9	2,42E+04	1,00E+01
		6,6	26,0	2,42E+04	1,14E+03

Obs.: O ciclo vegetativo da 2ª safra, período entre o plantio e a colheita, foi de 107 dias.

Tabela B.9 - Valores referentes ao Potencial Hidrogeniônico, Alcalinidade Total, Coliformes Totais e Coliformes Fecais das amostras extraídas dos coletores de drenagem livre na 3ª safra

Prof. Irrigação	Coleta no perfil do solo (cm)	pH	Alcalin Tot (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	Condutiv	Coli Totais (NMP/100mL)	Coli Fecais (NMP/100mL)
<u>Coleta de amostra no início da 3a safra (20/03/2002 - véspera do plantio do milho)</u>						
h=20cm	0-25cm	6,9	27,1	168	1,00E+02	1,00E+02
h=40cm	0-25cm	6,3	11,9	148	2,82E+03	1,00E+02
	25-50cm	6,4	51,0	171	2,14E+04	1,00E+02
	50-75cm	5,9	8,7	323	4,79E+04	1,00E+02
h=60cm	0-25cm	5,7	8,7	187	2,99E+04	1,00E+02
		5,2	11,9	138	2,31E+03	1,00E+02
	25-50cm	5,8	15,2	212	4,48E+03	1,00E+02
	50-75cm	6,1	23,9	164	1,00E+02	1,00E+02
		4,2	10,9	135	1,48E+04	3,00E+02
<u>Coleta de amostra - meio da 3a safra (14/06/2002 - 85º dia do ciclo veget. est. maturação)</u>						
h=20cm	0-25cm	6,2	6,5	453	1,00E+02	1,00E+02
h=40cm	0-25cm	8,0	106,3	394	1,00E+02	1,00E+02
	25-50cm	6,3	14,1	339	2,00E+02	1,00E+02
		3,7	0,0	407	3,10E+02	1,00E+02
	50-75cm	5,1	1,1	335	1,00E+02	1,00E+02
h=60cm	0-25cm	7,8	78,1	268	5,20E+02	1,00E+02
	50-75cm	6,6	10,9	620	1,00E+02	1,00E+02

Obs.: O ciclo vegetativo da 3ª Safra, período entre o plantio e a colheita, foi de 134 dias.

Prof. Irrigação	Coleta no perfil do solo (cm)	pH	Alcalin Tot (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	Coli Totais (NMP/100mL)	Coli Fecais (NMP/100mL)
Coleta de amostra no fim da 3ª safra (02/07/2002 - último dia do ciclo veget. do milho)					
h=20cm	0-25	6,6	13,0	5,48E+04	3,00E+02
h=60cm	0-25	4,5	0,0	2,42E+05	9,80E+04
		7,4	117,2	1,02E+04	1,00E+02

Obs.: O ciclo vegetativo da 3ª safra, período entre o plantio e a colheita, foi de 134 dias.

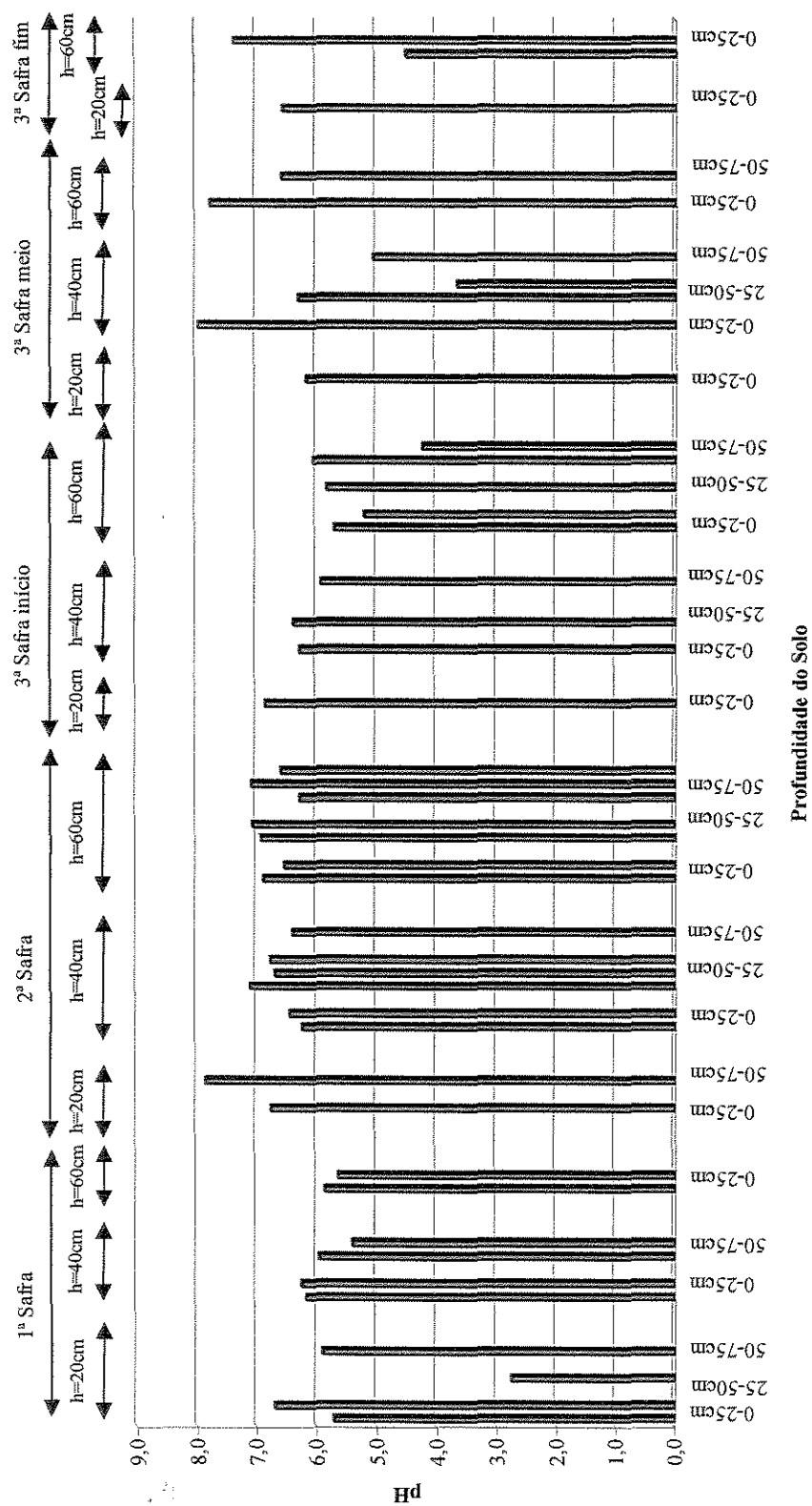


Figura B.1 - Potencial Hidrogeniônico – 1ª 2ª e 3ª safras - amostras extraídas dos coletores de drenagem livre

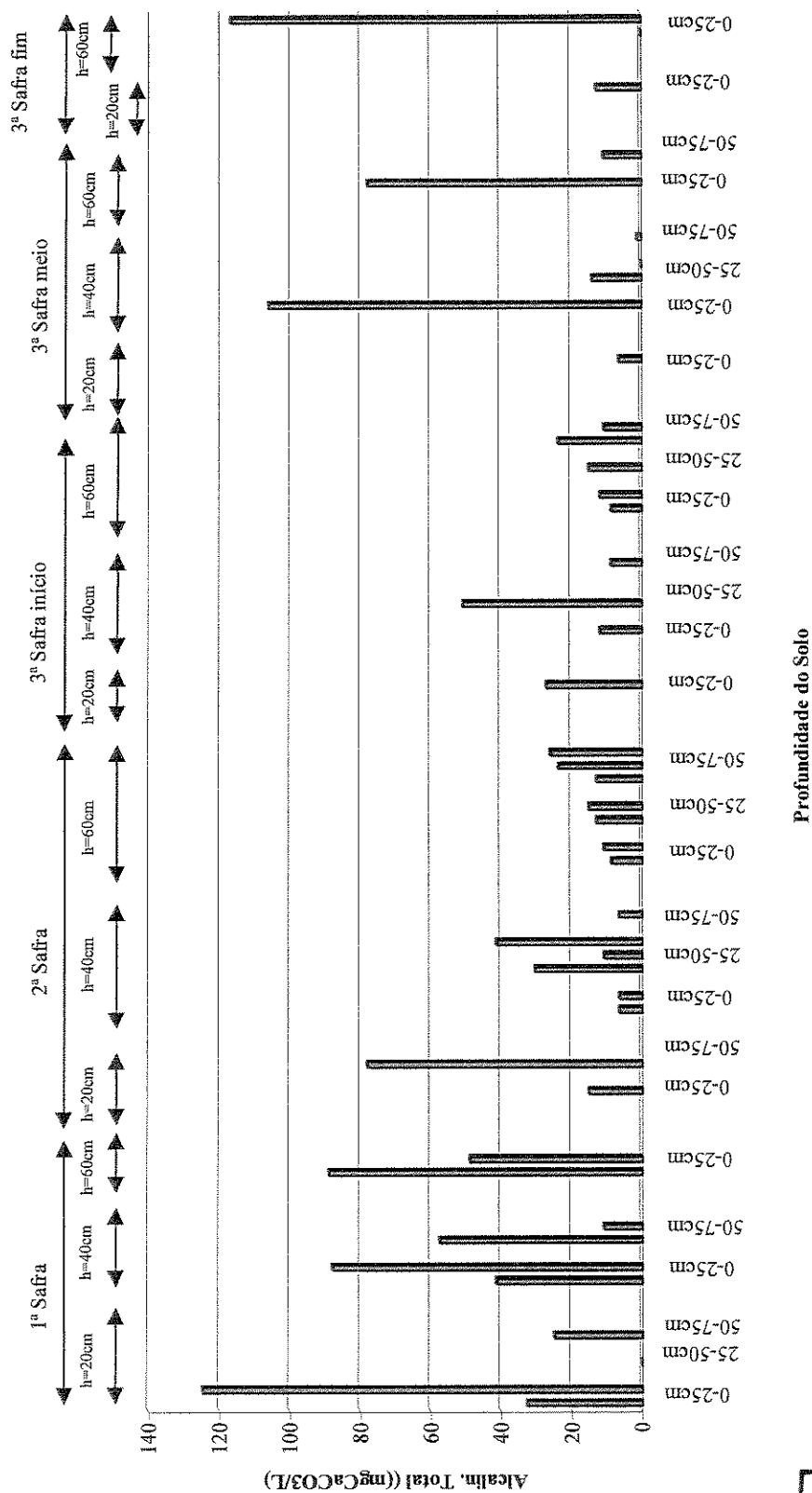


Figura B.2 - Alcalinidade Total – 1ª 2ª e 3ª safras - amostras extraídas dos coletores de drenagem livre

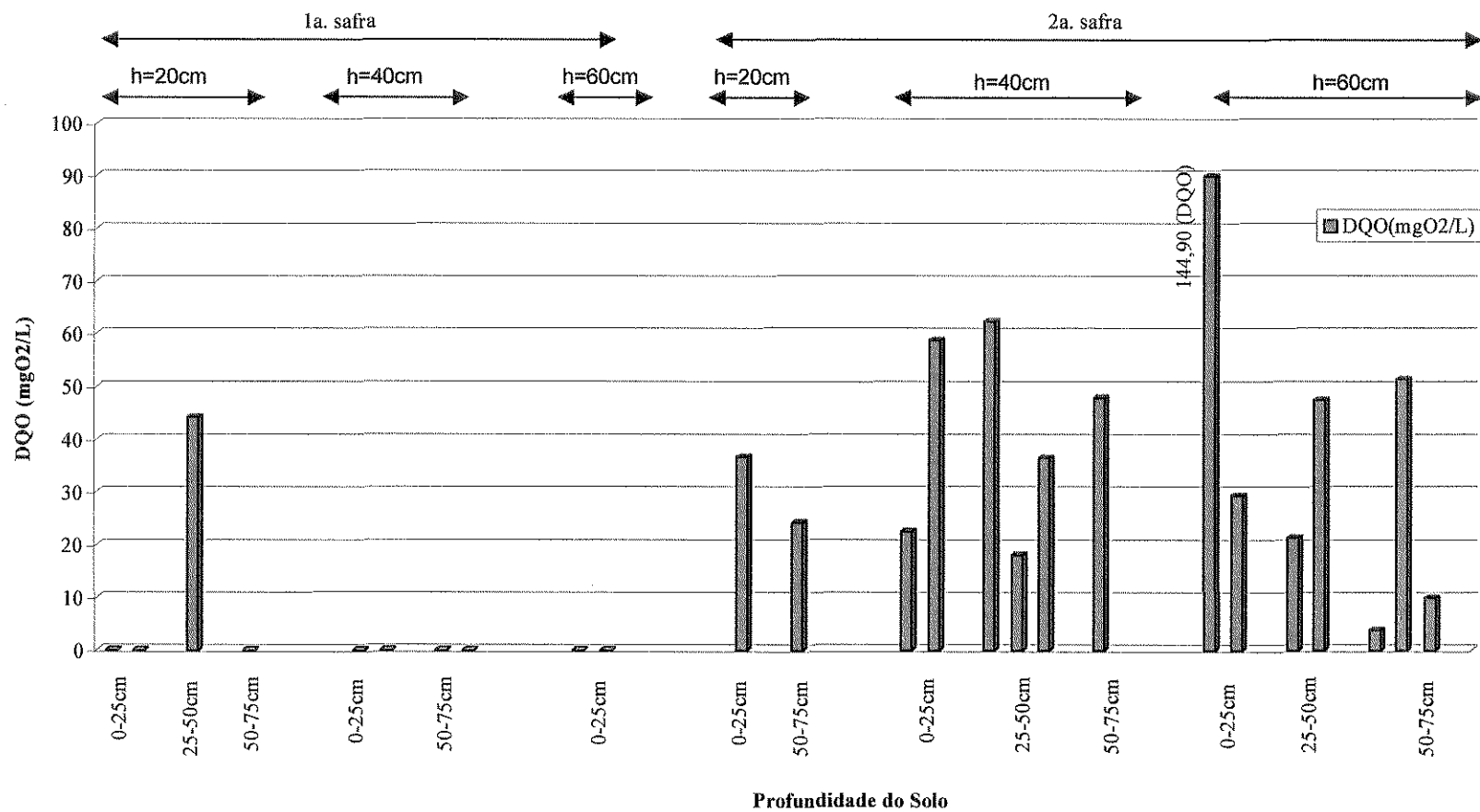


Figura B.3 - Demanda Química de Oxigênio – 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> safras - amostras extraídas dos coletores de drenagem livre  
 Obs.: Os parâmetros com concentração muito elevada estão com os seus valores indicados.

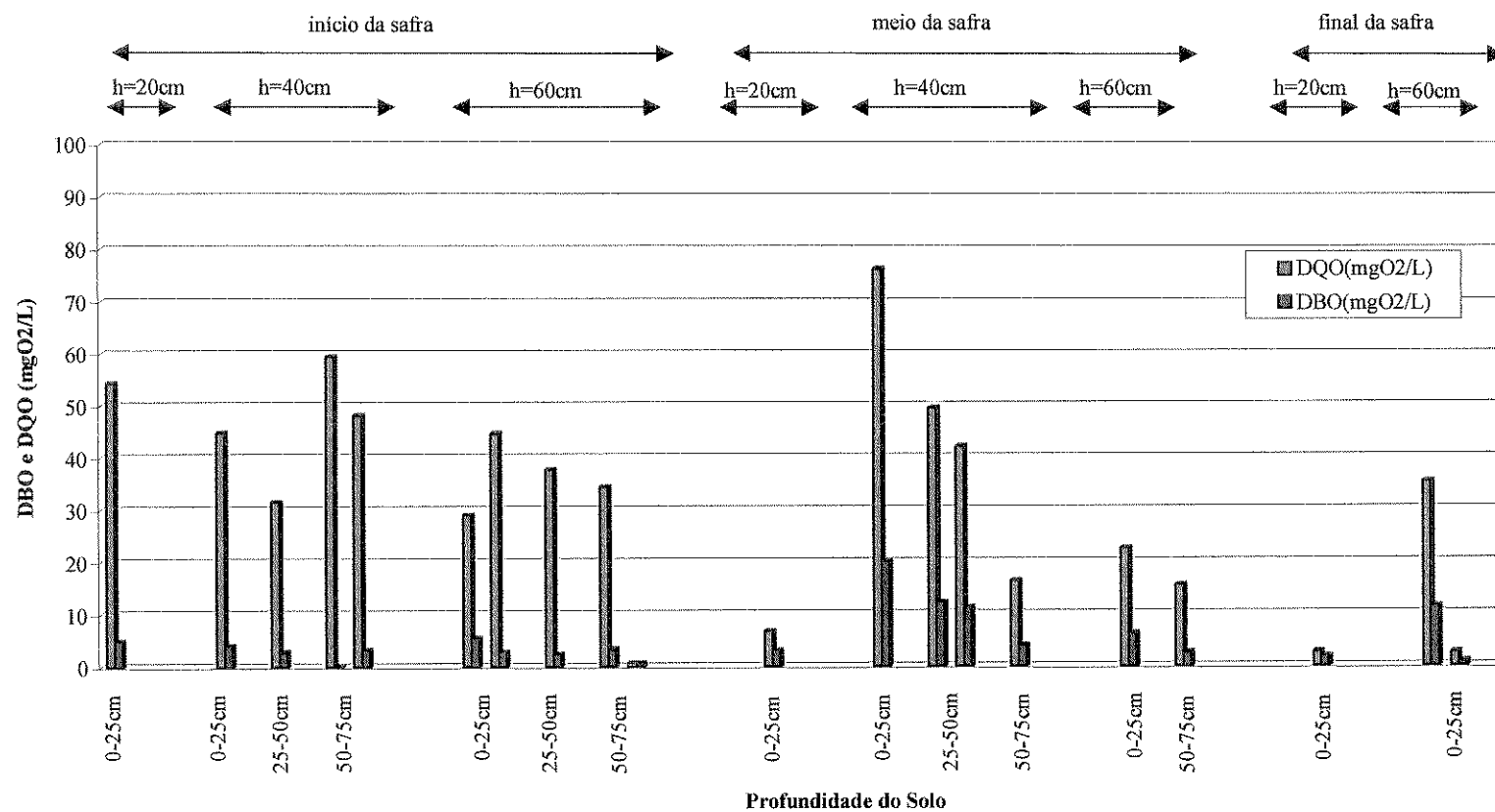


Figura B.4 - Demanda Química de Oxigênio e Demanda Bioquímica de Oxigênio – 3<sup>a</sup> safra - amostras extraídas dos coletores de drenagem livre

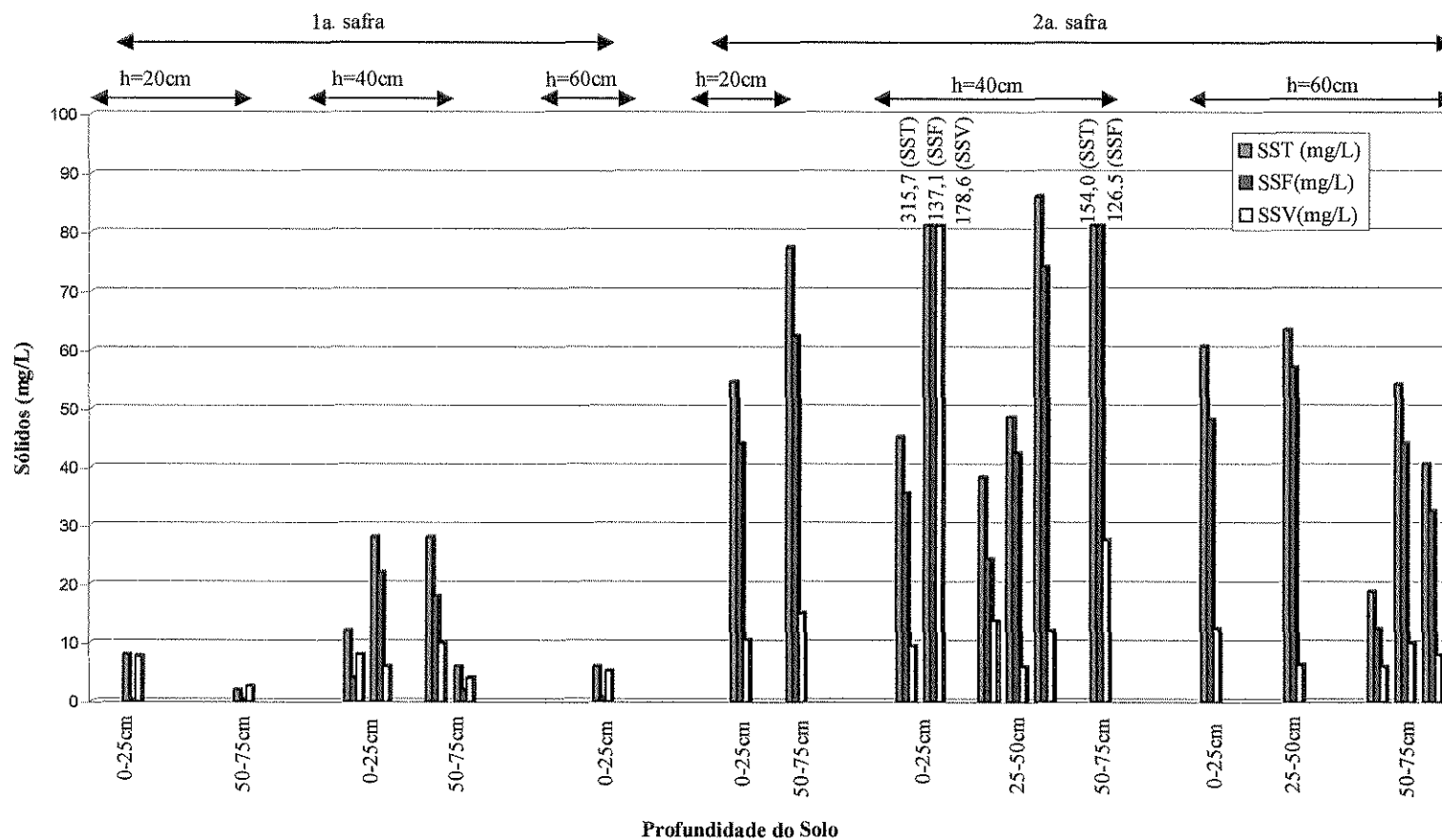


Figura B.5 - Sólidos Suspensos – 1ª e 2ª safras - amostras extraídas dos coletores de drenagem livre

Obs.: Os parâmetros com concentração muito elevada estão com os seus valores indicados.



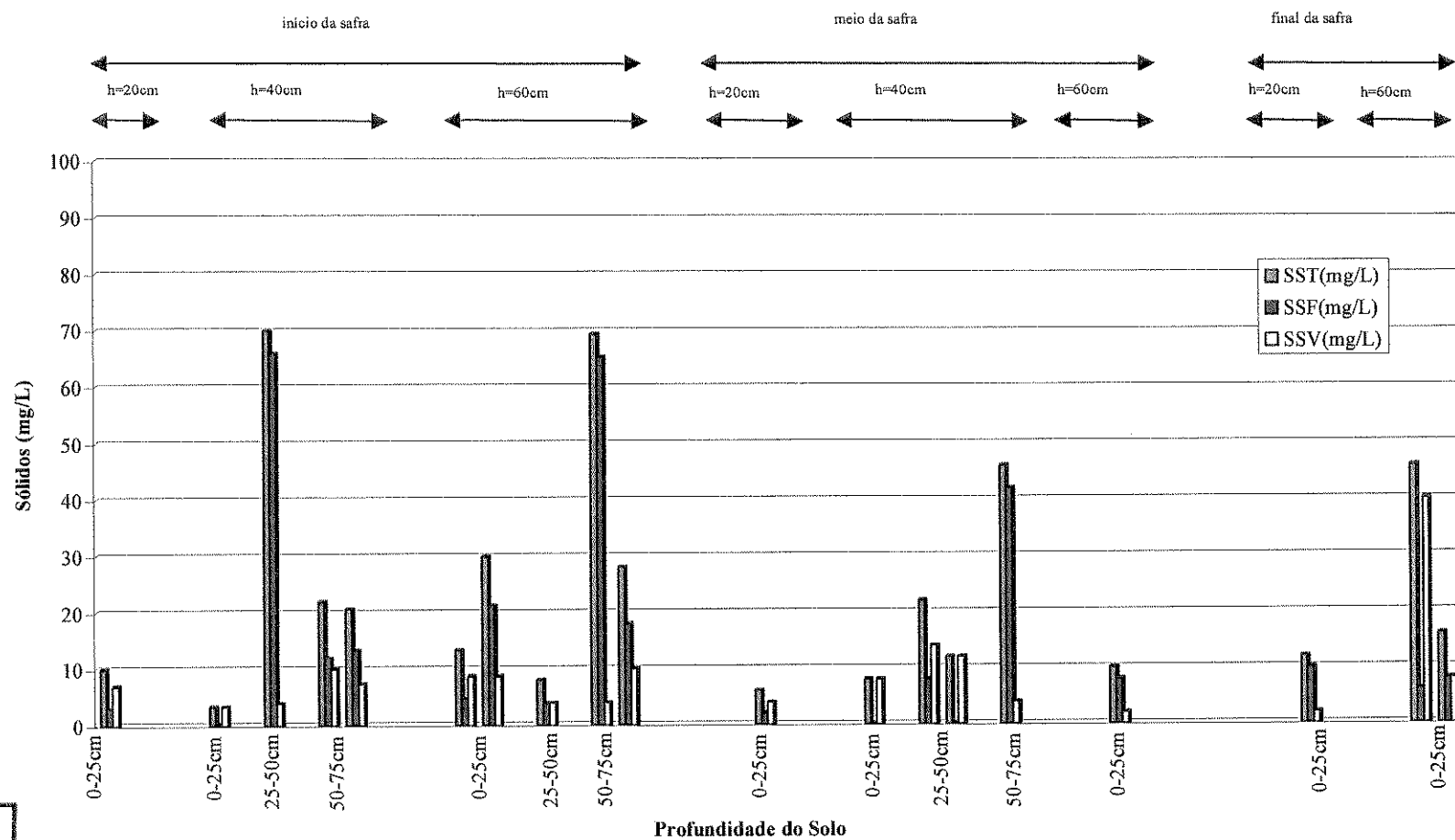


Figura B.6 - Sólidos Suspensos – 3ª safra - amostras extraídas dos coletores de drenagem livre

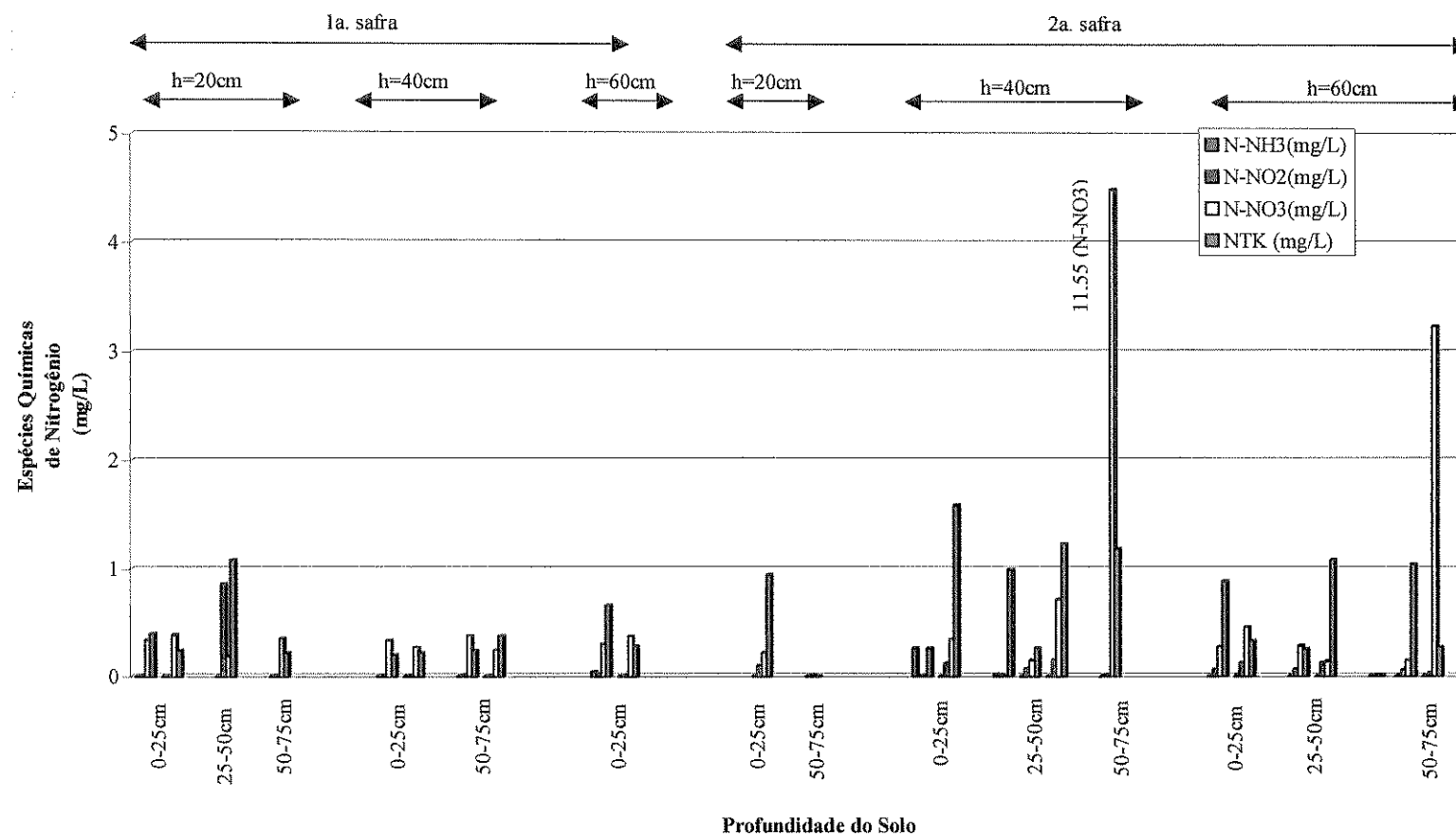


Figura B.7 - Nitrogênio Amoniacal, Nitrito, Nitrato e Nitrogênio Kjeldahl – 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> safra -amostras extraídas dos coletores de drenagem livre

Obs.: Os parâmetros com concentração muito elevada estão com os seus valores indicados.

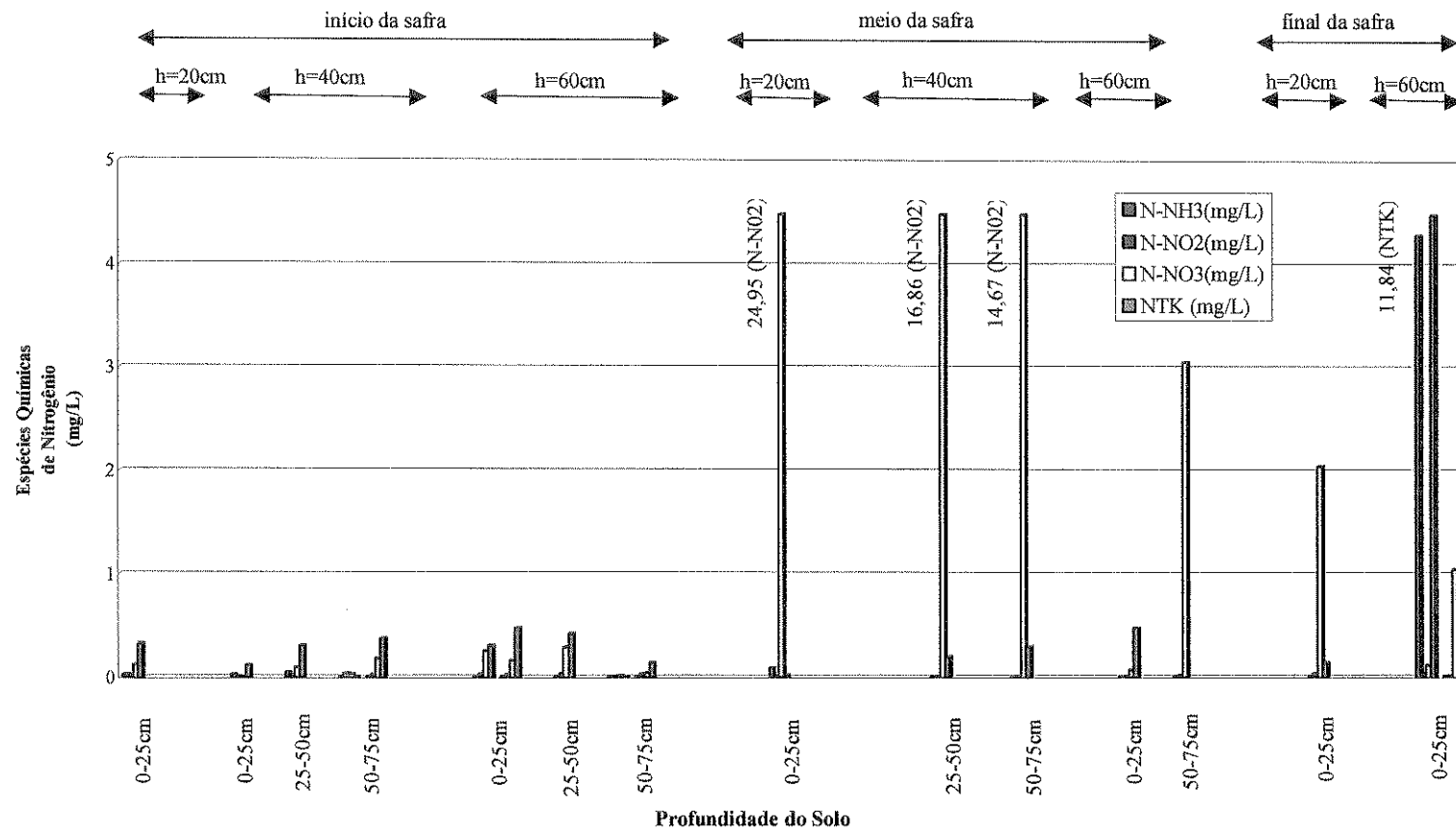


Figura B.8 - Nitrogênio Amoniacal, Nitrito, Nitrato e Nitrogênio Kjeldahl – 3<sup>a</sup>. safra - amostras extraídas dos coletores de drenagem livre

Obs.: Os parâmetros com concentração muito elevada estão com os seus valores indicados

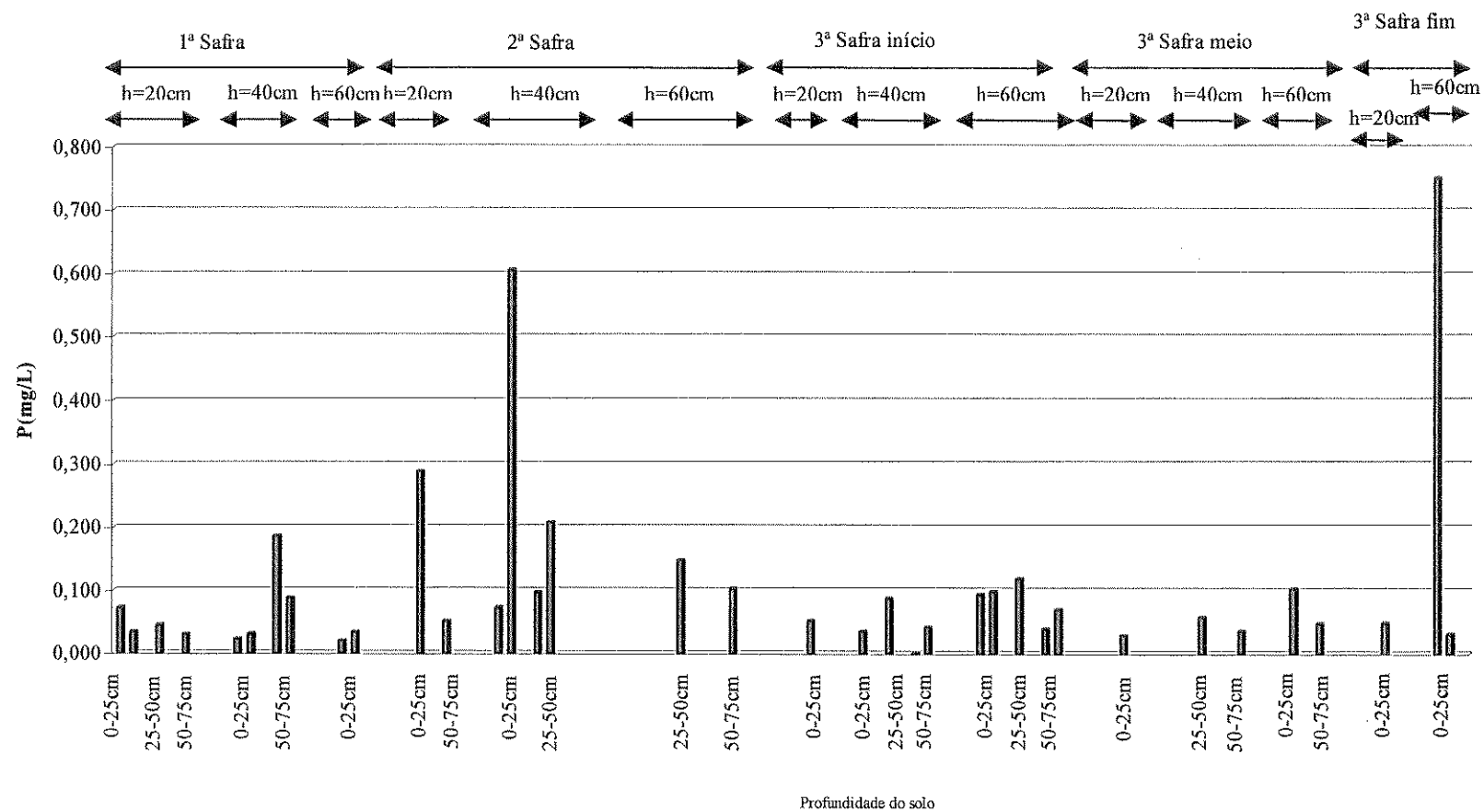


Figura B.9 - Fósforo - 1ª, 2ª e 3ª safras - amostras extraídas dos coletores de drenagem livre

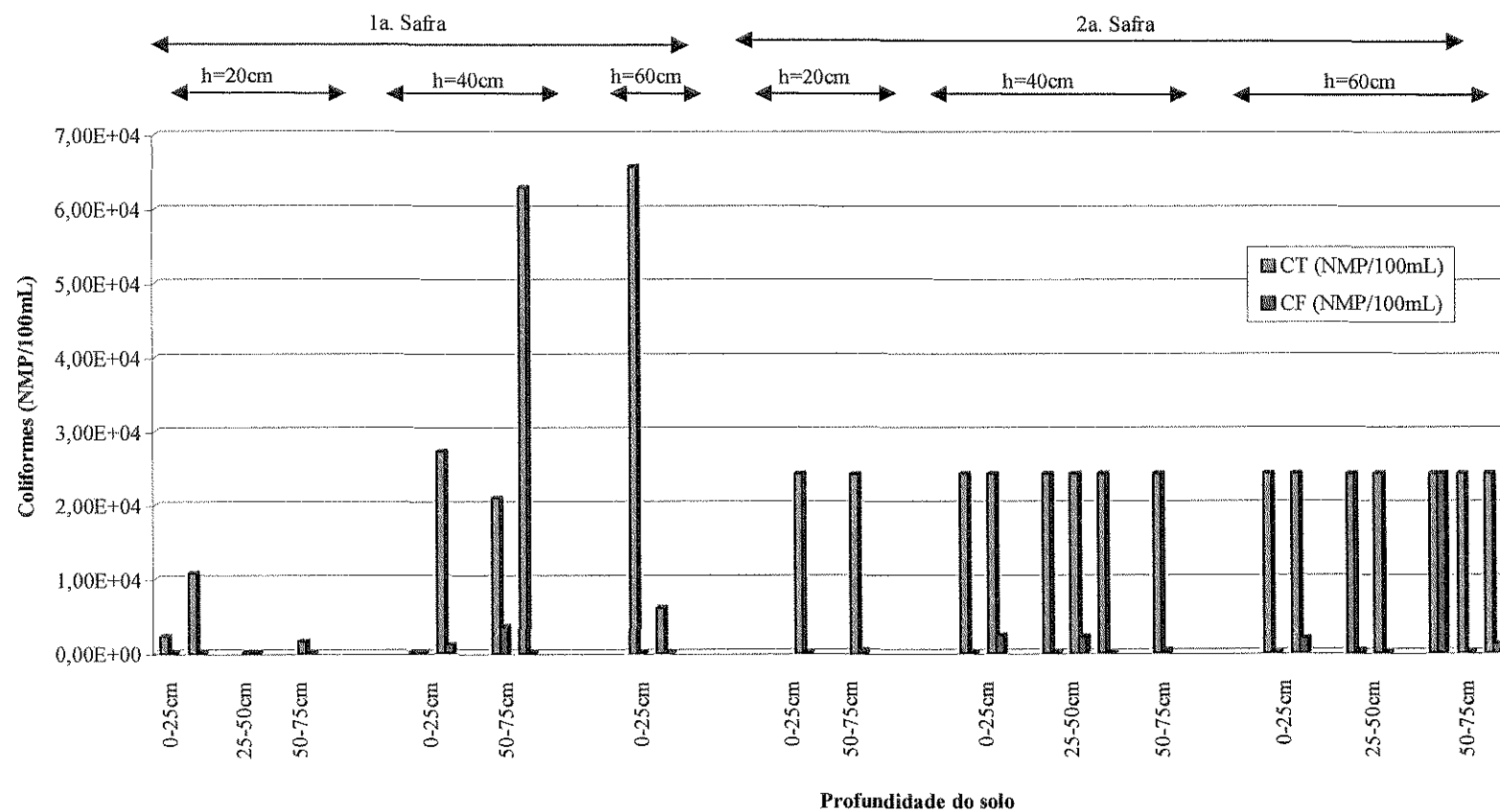


Figura B.10 - Coliformes Totais e Fecais – 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> safras - amostras extraídas dos coletores de drenagem livre

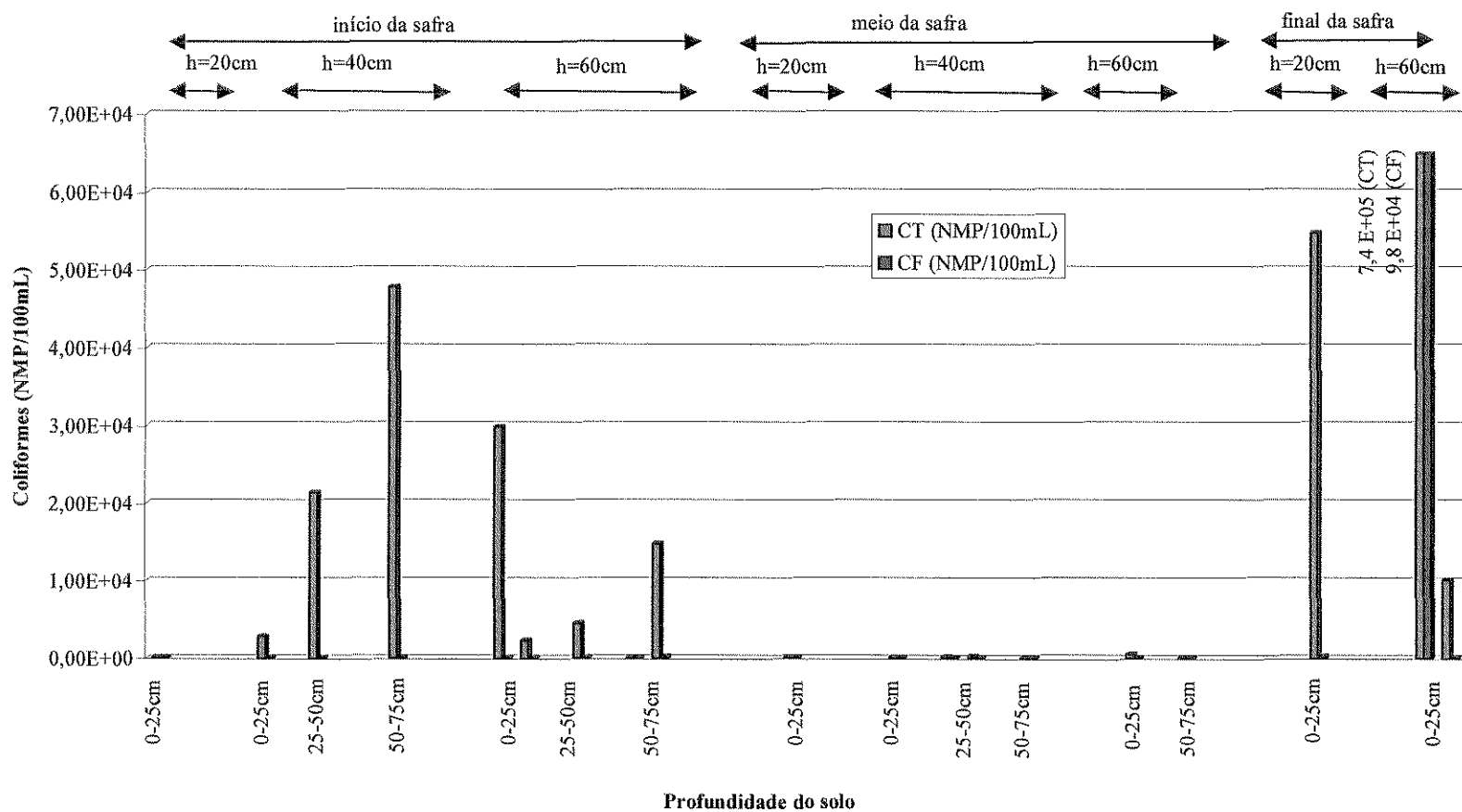


Figura B.11 - Coliformes Totais e Fecais – 3ª safra - amostras extraídas dos coletores de drenagem livre  
 Obs.: Os parâmetros com concentração muito elevada estão com os seus valores indicados.